

THESIS

BONN
~~1967~~

1967

Behandlungsmöglichkeiten des Unterschenkelrehbruches

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt von

HANNS ALBERT SCHÜTT

Facharzt für Orthopädie

aus

Essen

Bonn 1967

LANE MEDICAL LIBRARY OF
STANFORD UNIVERSITY
300 PASTEUR
PALO ALTO, CALIFORNIA



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Behandlungsmöglichkeiten des Unterschenkelrehbruches

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt von

HANNS ALBERT SCHÜTT

Facharzt für Orthopädie

aus

Essen

Bonn 1967

Angefertigt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Bonn

Referent: Professor Dr. med. R Ö S S L E R

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Juni 1967.

Aus der Orthopädischen Abteilung des Krankenhauses der
Augustinerinnen, Köln

Druck: Josef Fuchs, Köln, Breite Straße 155/57

Inhaltsübersicht.

I.	<u>Einleitung und Problemstellung</u>	Seite 5
II.	<u>Erster Hauptteil: Knochenbruchheilung</u>	Seite 7
a.	Indirekte Frakturheilung Erstes Stadium, S. 8; zweites Stadium, S. 13; drittes Stadium, S. 19	Seite 8
b.	Direkte, angiogene Frakturheilung Voraussetzungen und Definition, S. 20; zeitlicher Ablauf, S. 23; Störungen, S. 26; Ablehnung der Primärheilung, S. 27	Seite 20
III.	<u>Zweiter Hauptteil: Der Unterschenkeldreh-</u> <u>bruch und seine Behandlung</u>	Seite 28
A.	<u>Der Unterschenkeldrehbruch</u> Entstehungsmechanismus, Häufigkeit, Lokalisation, Form, S. 28; Drehkeil- verhalten und Fibulafraktur, S. 32; Dislokation, S. 33; Weichteilinter- position und Frakturhämatom, S. 35; Probleme für die Behandlung, S. 36; Fehlstellungen bei verheilten Unter- schenkeldrehbrüchen, S. 37	Seite 28
B.	<u>Konservative Behandlung.</u> Allgemeine Gesichtspunkte, S. 40; Reposition, S. 43; Fixation des repo- nierten Drehbruches, S. 44; im Gips- verband, S. 45; in der Dauerextension, S. 46; nachträgliche Fehlstellungen, S. 47; Ursachen der nachträglichen Dis- lokation, S. 49; Resultate der kon- servativen Behandlung, S. 50	Seite 40
C.	<u>Operative Behandlung</u> 1. Allgemeine Gesichtspunkte für die Osteosynthese, S. 53; Forderung, S. 53; Ablehnung der Osteosynthese, S. 54; Zeitpunkt der Osteosynthese, S. 56; Metallose, S. 57; Osteosyn- these des Drehbruches, S. 58 2. Die Marknagelung nach KÜNTSCHER, S. 59; Prinzip, Vorteil, Indika- tion, S. 59; Marknagelung des Dreh- bruches, S. 60; Grenzen und Nach- teile, S. 62; Ablehnung wegen nach- träglicher Fehlstellungen, S. 64; Resultate, S. 65 3. Die straffe Drahtumschlingung, S. 67; Prinzip, Indikation, Vorteil, S. 67;	Seite 53

Technik, S. 69; Nachbehandlung, S. 71; Störungen, S. 71; Ablehnung und Befürwortung der lockeren Drahtnaht, S. 73; Drahtumschlingung nach GOETZE, S. 75; Resultate, S. 76

4. Das AO-Verfahren, S. 80; Prinzip und Vorteil, S. 80; Indikation und Technik, S. 82; Nachbehandlung, S. 83; Ablehnung des AO-Verfahrens, S. 83; Störungen, S. 84; Ergebnisse, S. 85

5. Andere Operationsverfahren, S. 86;

6. Halbooperative Behandlung, S. 88;

IV. Kritische Stellungnahme zu den wichtigsten Behandlungsverfahren des Unterschenkel-

drehbruches und Kasuistik

Seite 90

A. Kritische Stellungnahme

Seite 90

1. Stellungnahme zur konservativen Behandlung, S. 90; Verkürzung und Seitenverschiebung, S. 91; rotatorische Fehlstellung, S. 93; Zusammenfassung, S. 97
2. Stellungnahme zur Marknagelung, S. 97; Ursache von Fehlstellungen, S. 98; Zusammenfassung, S. 102
3. Stellungnahme zur Drahtumschlingung, S. 102; Ursache von Fehlergebnissen, S. 103; Fehlergebnisse nach lockerer Drahtnaht, S. 107; Fehlergebnisse nach Drahtumschlingung nach GOETZE, S. 108; Zusammenfassung, S. 109
4. Stellungnahme zum AO-Verfahren, S. 110; Ursache von Fehlergebnissen, S. 110; Zusammenfassung, S. 113
5. Stellungnahme zu den anderen Behandlungsverfahren, S. 114

B. Kasuistik und typische Beispiele zu den einzelnen Behandlungsverfahren aus dem eigenen Krankengut,

Seite 115

V. Zusammenfassung

Seite 126

VI. Literaturverzeichnis

Seite 127

VII. Lebenslauf

Seite 137

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG.

MORRISON und COUGHLIN verzeichneten bis 1950 vor der Entwicklung der Sicherheitsbindungen bei Skiunfällen vorwiegend Knöchel- und Tibiakopffrakturen, gelegentlich auch Knieluxationen.

Heute ist der Unterschenkeldrehbruch eine typische Ski-verletzung. Nach BERCHTHOLD treten $\frac{2}{3}$, nach KESSLER 99 % aller Unterschenkeldrehbrüche bei Skiunfällen auf. BLUM bezeichnet den Anteil der beim Skilauf erlittenen Drehbrüche mit 88 %. Nach HILTBRUNNER lagen Unterschenkeldrehbrüche bei 13,8 % von insgesamt 3.892 Skiunfallverletzungen vor. EHALT beobachtete nach Skiunfällen vorwiegend sehr lange Drehbrüche.

Trotz der inzwischen verbesserten Sicherheitsbindungen liegen die Unterschenkeldrehbrüche bei den Skiunfällen unverändert an erster Stelle, da die Sicherheitsbindungen nach ASANG und SCHMID die Zahl der Skiverletzungen nicht verringert haben und sogar schneller steigt, als die Zahl der Skiläufer zunimmt. Der Anteil der Beinverletzungen beträgt nach ASANG und SCHMID unverändert 80 %; die Zahl der Knochenbrüche hat allerdings etwas abgenommen. Die Autoren vermuten, daß die individuelle Einstellung der Sicherheitsbindungen schwierig ist; bei einer von ASANG und SCHMID durchgeführten Umfrage erklärten von 744 Ski-verletzten 63 %, daß die Sicherheitsbindung sich nicht rechtzeitig gelöst habe.

BÜRKLE DE LA CAMP und KOCH u. KEMPTER berichten wiederholt über ihre Erfahrungen an Unterschenkeldrehbrüchen, die im Wintersportgebiet mit einem Gehgipsverband versorgt worden waren und im Gipsverband eine meist ausgeprägte Fehlstellung zeigten. Diese Beobachtungen decken sich mit unseren Erfahrungen: Die Röntgenuntersuchung ergab fast ausnahmslos eine nachträglich eingetretene Dislokation, wobei immer eine Verkürzung und Seitenverschiebung und eine auffallende rotatorische Fehlstellung der Tibiafragmente bestand.

Bei den beobachteten Fällen wurde meist im Wintersportgebiet eine Extensionsbehandlung durchgeführt, oft bei gleichzeitiger Fixation im Gipsverband. Der später angelegte Gipsverband reichte gelegentlich nur bis zum Kniegelenk, meistens bei gestrecktem Kniegelenk bis zum Oberschenkel. Im Arztbericht wurde fast ausnahmslos mitgeteilt, die letzte Röntgenkontrolle habe eine gute Stellung ergeben; weitere Maßnahmen seien nicht erforderlich, sodaß der Gipsverband nach einigen Wochen entfernt werden könne.

Auf Grund dieser Erfahrungen ergab sich als Thema dieser Arbeit die Frage, auf welche Ursachen die Fehlresultate bei der Behandlung des Unterschenkeldrehbruches zurückzuführen sind und wie Mißerfolge vermieden werden können. Im Rahmen dieser Arbeit werden deshalb die einzelnen Verfahren zur Behandlung des Unterschenkeldrehbruches unter Berücksichtigung der Biologie der Frakturheilung ausführlich besprochen.

II. ERSTER HAUPTTEIL.

Die Knochenbruchheilung.

KROMPECHER und PETROKOV unterscheiden drei verschiedene Formen der Knochenneubildung:

Die chondrogene Knochenbildung ist die normale Form, wobei typische Knorpelzellen in axialer Anordnung auftreten. Zwischen den Knorpelzellen liegen Blutgefäße und undifferenzierte Mesenchymzellen. Nach Beendigung des Knorpelwachstums differenzieren die Mesenchymzellen in Osteoblasten. Die Osteoblasten bilden die knöcherne Zwischensubstanz, die Knorpelzellen werden später durch Chondroklasten abgebaut.

Die desmogene Knochenbildung läuft auf dem Umweg über eine bindegewebige Zwischenstufe ab. Desmogene Knochenbildung kann nur an Knochen, die mit Periost bedeckt sind und unter Dauerzug stehen, eintreten (PETROKOV). Zwischen kollagenem Bindegewebe bemerkt man undifferenzierte Mesenchymzellen, die in Osteoblasten differenzieren und so die Zwischensubstanz bilden. Die Bindegewebszellen verschwinden später nicht vollständig, sie sind immer in Form von Bindegewebsbündeln im Knochen eingelagert.

Bei der konservativen Knochenbruchbehandlung besteht meistens eine Mischform zwischen chondrogener und desmogener Knochenneubildung. Diese Form der Knochenbruchheilung wird heute allgemein als indirekte Konsolidation bezeichnet, wobei die Osteogenese nicht allein von der Kompakta ausgeht, sondern alle Abschnitte des Knochens an ihr teilnehmen.

Bei der angiogenen Form der Knochenbildung entstehen die Knochenzellen nach KROMPECHER, PAUWELS und PETROKOV ausschließlich aus undifferenzierten Zellen, die von feinen Blutgefäßsprossen ausgehen und von diesen umgeben sind. Die knöcherne Zwischensubstanz wird von Osteozyten gebildet, die über Osteoblastenbildung aus dem undifferenzier-

ten Gewebe entstanden sind.

Die angiogene Frakturheilung verläuft im Allgemeinen ohne sichtbare Kallusbildung und wird deshalb im medizinischen Sprachgebrauch als per-primam-Ossifikation oder primäre Frakturheilung bezeichnet.

a. Die indirekte Frakturheilung.

Die chondrogene und desmogene Knochenbruchheilung und ihre Mischform wird nach Vorschlag von KÜNTSCHER und OSTAPOWICZ als indirekte Frakturheilung bezeichnet. Sie wird von mehreren Autoren - BÜRKLE DE LA CAMP, DE PALMA, KÜNTSCHER, MAATZ, MÖRL - als aseptische Entzündung aufgefaßt; nach KÜNTSCHER muß die lebende und von der Blutzirkulation umfaßte Knochensubstanz, besonders Periost und Mark, von der Entzündung befallen sein. Nach Ansicht KÜNTSCHERS ist die Entzündung chronisch-chemisch und chronisch-mechanisch bedingt.

In der Literatur wird der zeitliche Ablauf der indirekten Frakturheilung in drei Stadien eingeteilt:

Im ersten Stadium, der Proliferation und der Bildung des vorläufigen Kallus (BLOCK), besteht zunächst durch Lähmung der Arteriolen im Frakturgebiet eine Stase (FEHR). Das Hämatom gerinnt nach wenigen Stunden (FEHR; MAURER u. LECHNER) durch eine reine Fibringerinnung (HÜBNER).

Die Bedeutung des Frakturhämatoms wird unterschiedlich eingeschätzt: Nach BÜRKLE DE LA CAMP reizt es die Knochenzellen zur Entzündung und damit zur Kallusbildung, übermässiger Hämatomdruck wirkt jedoch schädlich. WITT ist der Ansicht, daß das Hämatom für die Ernährung des später entstehenden pluripotenten Mesenchymgewebes wichtig ist. Nach BIER bildet das Hämatom Grundlage für Ernährung und Anreiz zur Kallusbildung. HEUSER betrachtet es als Klettergerüst für das Keimgewebe. Nach ANDERSON ist das Hämatom ein osteogenetisches Potential, nach MÖRL Grundsubstanz des primären Kallus. Nach BLOCK, HELLNER und KÜNTSCHER wirkt das Hämatom regenerationsfördernd oder als Kalkdepot.

Nach FORSSMANN und VITALLI hat das Frakturhämatom keinen Einfluß auf die Regeneration; VITALLI betrachtet es in grosser Ausdehnung als wesentliches Regenerationshindernis.

Nach zwei bis drei Tagen besteht im Frakturgebiet eine Hyperämie (BLOCK, EBERT, FEHR, GIEBEL, KÜNTSCHER, LEXER, SCHWIER, WRAY), die nach GIEBEL alle Abschnitte der Fraktur umfaßt; nach WRAY nimmt nur die periostale und knöcherne Durchblutung an der Hyperämie teil. Die Hyperämie beginnt zuerst am periostalen Gefäßnetz und geht nach Bildung von Kollateralen auf das Mark über, sodaß ein Ersatzkreislauf für die verletzten Gefäßbezirke hergestellt wird (BIER). Nach BLOCK geht die Hyperämie von den kleinen und nicht von den großen Gefäßen aus. Die Hyperämie beruht auf einer Erweiterung der Kapillaren (MAATZ, WATSON-JONES, WRAY) mit Vermehrung der Gefäßdichte und Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit (BAUMGARTL, GREMMEL, WILLMANN).

Gleichzeitig mit der reaktiven Hyperämie beginnt am zweiten Tag die Organisation und Resorption des Hämatoms durch Bindegewebszellen, die mit Gefäßsprossen in das Hämatom einwachsen (BLANKE, BLOCK, BRANDT, FEHR, HILTBRUNNER, KROMPECHER, KÜNTSCHER, OBERDALHOFF, SCHAUTZ, SCHWARZ, VITALLI, WATSON-JONES, WRAY). Die Organisation ist nach BLANKE Voraussetzung für die Regeneration. Nach OBERDALHOFF und WRAY geht die Gefäßinvasion vom Weichteilgewebe aus. Gleichzeitig reichert sich das Hämatom mit Autolysaten aus der Trümmerzone der Fraktur an (GARE, STICH u. BAUER). Nach MAATZ, SCHAUTZ und WRAY führen die einwachsenden Bindegewebsfasern zu einer ersten Überbrückung der Fraktur.

Bis zum Ablauf der ersten Woche steht die Muskulatur der gebrochenen Extremität noch im Schockzustand (Stupor) mit verminderter Erregbarkeit (BRUCK u. MOSER, BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR, E. REHN, SCHWIER); nach BÜRKLE DE LA CAMP reicht die schmerzbedingte Erregung der fraktur-nahen Muskulatur allerdings aus, die Frakturenenden teilweise zu fixieren.

In dieser Zeit entsteht durch Proliferation der Osteoblasten des Periosts und Endosts (VITALLI) durch den Reiz

der reaktiven Hyperämie (SCHWIER) ein indifferentes, mesenchymales Granulationsgewebe, welches im weiteren Verlauf den Granulationskallus (OSTAPOWICZ) bildet.

Nach Auffassung der meisten Autoren (ANDERSON, ANNERSTEN, BLOCK, L. BÖHLER, BRANDT, BÜRKLE DE LA CAMP, DE PALMA, EHALT, FEHR; GARE, STICH u. BAUER; HELLNER, HEUSER, HÜBNER, GEISER, LEEMANN, LEXER, KÜNTSCHER; MAURER u. LECHNER; MÖRL, OBERDALHOFF, OSTAPOWICZ, SCHWARZ, TRUETA, WATSON-JONES, WRAY) entsteht das undifferenzierte mesenchymale Gewebe hauptsächlich aus dem Periost.

Nach GELBKE ist jedoch die mesenchymale Gewebsbildung vom Periost nicht besonders ausgeprägt. Nach FEHR und MAATZ ist die Rolle des Periostes nicht zu überschätzen, da es beim Erwachsenen nur eine leicht zerreißbare Bindegewebsmembran ohne Kambiumschicht darstellt und nach L. BÖHLER die Bildungsfähigkeit des periostalen Kallus mit zunehmendem Alter nachläßt.

Dem Endost wird nur eine gewisse Mitwirkung zugesprochen, die jedoch der Leistung des Periostes unterlegen ist (ANDERSON, BLOCK, BÜRKLE DE LA CAMP, DE PALMA, EHALT; GARE, STICH u. BAUER; GEISER, HELLNER, MÖRL, OSTAPOWICZ, SCHWARZ, WATSON-JONES). Nach KÜNTSCHER ist das Endost für die Bildung des Granulationsgewebes unwichtig, da bei der Marknagelung Endost und A. nutritia infolge Aufbohrung zerstört werden und trotzdem Störungen der Knochenernährung oder Kallusbildung nicht zu verzeichnen seien.

ANDERSON, BRANDT; GARE, STICH u. BAUER; HÜBNER; MAURER u. LECHNER, MÖRL und OSTAPOWICZ sind der Auffassung, daß auch die kompakte Kortikalis und die intermediären Räume einen gewissen Beitrag bei der Bildung des mesenchymalen Gewebes liefern. Von BÜRKLE DE LA CAMP, DE PALMA und HELLNER wird die Mitwirkung des Bindegewebes der HAVERSSchen Kanäle besonders hervorgehoben. GEISER lehnt jedoch eine Beteiligung der Fragmentenden entschieden ab, da bei den Osteozyten bekanntlich eine Mitose ausgeschlossen sei. Auch ECKE ist der Ansicht, daß die von Periost und Markraum ausgehende Regeneration derjenigen des kompakten Knochens erheblich überlegen ist.

Nach ANNERSTEN, BIER, L. BÖHLER, BRANDT, DE PALMA, GELBKE,

HELLNER, HÜBNER und WATSON-JONES besteht auch eine Mitwirkung des Markraumes an der mesenchymalen Gewebsbildung, die nach GARE, STICH u. BAUER sowie GELBKE nur äußerst gering ist; nach GELBKE beteiligt sich das Mark nur, wenn es vorher in einen entzündlichen Zustand versetzt wurde. BIER schreibt dem Markraum allerdings eine größere osteogenetische Potenz als dem Periost zu.

Von L. BÖHLER, BRANDT, BÜRKLE DE LA CAMP; GARE, STICH u. BAUER; GELBKE und HELLNER wird auch für die Weichteile der Frakturumgebung eine Mitwirkung bei der Entstehung des unspezifischen Mesenchymgewebes angenommen, vor allem für die bindegewebigen Abschnitte der Gefäße, Nerven und Muskeln, von L. BÖHLER und EHALT für abgesprengte Knochensplinter. Nach GELBKE und OBERDALHOFF sind die fraktur-nahen Weichteile maßgeblich beteiligt, da Periost und Mark nur bei subperiostalen Frakturen ausreichen und ohne die Weichteilumgebung eine Verzögerung der Konsolidation eintreten würde. SCHWARZ ist der Ansicht, daß außerdem eine Mitwirkung des Endothels der Lymph- und Blutgefäße vorliegt, die auch die Hämatomresorption vornehmen. Nach BLOCK ist eine Beteiligung der Weichteile und des retikuloendothelialen Systems unwahrscheinlich.

Mehrere Tage nach der Fraktur beginnt eine oedematöse Durchtränkung des Frakturgebietes mit Exsudation (FEHR, HELLNER, SCHAUTZ). Nach HELLNER scheiden die Granulationsgewebezellen eine Interzellulärsubstanz aus, die später die Bildung von chondroidem oder osteoidem Gewebe auslöst. In den folgenden Tagen tritt nach FEHR und MÖRL zusammen mit dem Oedem der Frakturumgebung durch freigewordene Phosphate eine Übersäuerung ein, die eine Verschiebung der Ionenkonzentration im Sinne der Azidose verursacht (BÜRKLE DE LA CAMP, DE PALMA, FEHR, KÜNTSCHER; MAURER u. LECHNER; MÖRL). Gleichzeitig bilden die Gefäßsprossen eine kapilläre Umspinnung des Frakturgebietes (ANNERSTEN, BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR, WITT). Azidose und Kapillarvermehrung verursachen Auflockerung und Entkalkung der Frakturrenden; gleichzeitig bauen Osteoklasten und Phagozyten, die infolge Kapillardurchlässigkeit an die Bruchstelle (SCHWARZ)

gelangt sind, an den Fragmentenden die geschädigten Abschnitte ab (BLOCK, L. BÖHLER, FEHR, HÄBLER, MÖRL; MAURER u. LECHNER; SCHWARZ).

Während der Übersäuerungsphase führt der Knochenabbau zu einer Frakturspaltverbreiterung (BECKER, L. BÖHLER, BLOCK, BRANDT, BÜCKLE DE LA CAMP, GEISER, HÄBLER, HILTBRUNNER, LUNG MUSS, MAATZ), die nach L. BÖHLER mehrere Millimeter beträgt und durch Regeneration wieder aufgefüllt werden muß (HÄBLER). Nach Auffassung der meisten Autoren ist die Fragmentendenresorption im Allgemeinen nicht sehr ausgedehnt; nur spitze Bruchenden werden gelegentlich weitgehend oder vollständig abgebaut (BECKER).

Die Verbreiterung des Frakturspaltes ist nach GEISER zirkulatorisch bedingt; die Ernährungsschwierigkeiten der Osteozyten führen zu einer Nekrose der Frakturenenden, weil die Gefäßversorgung longitudinal verläuft, der kortikale lamelläre Knochen nicht durch Diffusion ernährt werden kann und die Osteozyten nur bei einem Minimalabstand vom nächsten Blutgefäß lebensfähig sind. Nach VITALLI wird die Nekrose ebenfalls durch Gefäßunterbrechung in den HAVERSschen Kanälen verursacht, sodaß die Zirkulation bis zur nächsten Querverbindung mit dem Nachbargefäß sistiert; die Übernahme der Ernährung durch benachbarte Gefäßabschnitte ist nach VITALLI nicht möglich. Der Abbau an den Frakturenenden ist nach HÄBLER umso größer, je dicker der Knochen ist und je mehr Periost bei dem Unfall zerstört wurde.

Nach FEHR und MÖRL wächst bald undifferenziertes mesenchymales Gewebe in den verbreiterten Frakturspalt ein. In dieser Zeit liegen im Frakturspalt bereits kollagene Fasern, die teils ungeordnet, teils nach Zugkräften gerichtet sind (FEHR).

Einige Tage später treten unter Vermehrung der kollagenen Fasern osteoide Verdichtungszone auf, aus denen sich osteoide Bälkchen formieren. Die Bälkchen stellen sich in dichten Reihen um die eingedrungenen Kapillarsprossen auf (BLOCK). Da nach OSTAPOWICZ das blutgefäßreiche Mark und Endost mehr Gefäßsprossen bilden, liegen die Osteoidbälk-

chen hier dichter als im Bereich der gefäßärmeren Kortikalis. Nach WRAY ist das Osteoidgewebe anfangs avaskulär, die Vaskularisierung tritt erst später ein.

Die proliferierten Osteoblasten (VITALLI) lagern sich um die Osteoidbälkchen und beginnen zunehmend mit der Kalk-einlagerung aus der Frakturumgebung (BLOCK, BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR; GARE, STICH u. BAUER; HÄBLER, HELLMER, HILTBRUNNER, HÜBNER, MAATZ, OSTAPOWICZ, SCHAUTZ, SCHWARZ). Nach MAATZ bilden diese Zellen bereits in Umrissen ein trabekelähnliches Flechtwerk.

Neben den osteoiden Bälkchen und kollagenen Fasern bestehen knorpelige Gewebsformen (BÜRKLE DE LA CAMP; GARE, STICH u. BAUER; GEISER, MÖRL, SCHAUTZ, WATSON-JONES), so- daß nun eine Grundsubstanz aus fibrösem Gewebe und aus hyalinem Knorpel vorliegt, die später differenzieren muß. Der gesamte Gewebekomplex bildet den provisorischen Osteoidkallus (OSTAPOWICZ).

Das zweite Stadium der indirekten Frakturheilung, die Differenzierung, beginnt etwa zwei Wochen nach der Fraktur (BLOCK, MÖRL). In dieser Zeit laufen An- und Abbauvorgänge nebeneinander her. Der Abbau überwiegt zunächst; infolge der resorptiven Vorgänge und der posttraumatischen Atrophie kommt es weiterhin zu einer Querschnittsminderung des Knochens, vor allem an den Frakturende und -spitzen (BECKER, BLOCK, FEHR, HÄBLER, HILTBRUNNER). Die tote Kortikalis wird von periostalen und endostalen Gefäßen invadiert; die nekrotischen Bezirke werden mit Hilfe der Blutquellen schleichend umgebaut (GEISER). Nach MAATZ nimmt die Kortikalis des Röhrenknochens jetzt vorübergehend spongiösen Charakter an.

Gleichzeitig nimmt die anfänglich mindererregbare Muskulatur den Zustand der Übererregung im Sinne eines intermittierenden Tetanus an, der sich tonometrisch nachweisen läßt (BRUCK u. MOSER; BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR, LEXER, E. REHN). Die Übererregung tritt dort ein, wo Knochen und Muskulatur eine funktionelle Einheit bilden (E. REHN). Neben der fraktur-nahen Muskulatur wird auch die frakturfer-

ne Muskulatur auf Grund ihrer Beziehung zu den benachbarten Gelenken erregt, wenn auch in geringerer Stärke (E. REHN). Nach BÜRKLE DE LA CAMP und E. REHN ist der fraktur-nahe Muskel als Kalluserzeuger anzusehen, weil die Muskelzuckungen dauernd wechselseitige Druck- und Zugreize auslösen und nach FEHR, E. REHN und TRUETA die Durchblutung fördern. Das Optimum der Erregung der fraktur-nahen Muskulatur liegt in der physiologischen Spannung (E. REHN), die nur bei wiederhergestellter Null-Länge besteht (EGGERS, AINSWORTH, SHINDLER u. POMMERAT; FRIEDENBERG u. FRENCH; FEHR, E. REHN). Der Muskeldruck soll möglichst axial versteifen (VITALLI).

Nach BLOCK, BÖTTGER, BRANDT, BÜRKLE DE LA CAMP, EHALT, FEHR, LUNG MUSS; MÜLLER u. PITZKE und E. REHN sind die Voraussetzungen für die Frakturheilung an den Stellen ungünstig, an denen eine Aussparung des Muskelbesatzes vorliegt, besonders an der Vorderkante der Tibia im mittleren und unteren Drittel.

Die reaktive Bruchhyperämie hält während der Differenzierung an und erreicht ihren Höhepunkt (BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR, GIEBEL, LEXER, E. REHN). Die Durchblutung wird jedoch nach SCHWIER während des intermittierenden Tetanus durch die kontrahierte Muskulatur herabgesetzt; nach SCHWIER wird die Differenzierung des mesenchymalen Gewebes durch die 'knochennützliche Mangel durchblutung' eingeleitet.

Die osteoiden Bälkchen lagern weiterhin grobkörnige Körper ein, sodaß die Osteoidsubstanz allmählich verkalkt, wenn die anfängliche Azidose in eine Alkalose umgeschlagen ist (BRUCK u. MOSER; KÜNTSCHER). Infolge Osteoblastenvermehrung überwiegen nun die Anbauvorgänge (BLOCK, BÜRKLE DE LA CAMP, DE PALMA; GARE, STICH u. BAUER; FEHR, HÄBLER, HILTBRUNNER, HÜBNER, MAURER u. LECHNER; SCHAUTZ, SCHWARZ). Nach WRAY werden die Anbauvorgänge perivaskulär gesteuert.

Während des zweiten Stadiums der indirekten Frakturheilung geschieht die Differenzierung des pluripotenten

mesenchymalen Keimgewebes aus osteoider, chondroider und fibrös-kollagener Grundsubstanz. Das Keimgewebe differenziert in Bindegewebe und Knorpel und bildet bindegewebigen und knorpeligen oder einen gemischten provisorischen Kallus, aus dem sich erst im dritten Stadium endgültig chondrogener oder desmogener Knochen entwickelt (BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR, HELLMER, HILTBRUNNER, PAUWELS, VITALI). Der neugebildete Kallus entsteht bei der indirekten Frakturheilung nicht primär, sondern immer sekundär auf der Grundlage eines mesenchymalen Gewebes, wobei nach BLOCK und GEISER der kompakte Knochen selbst nicht an der Kallusbildung beteiligt ist.

Während der Differenzierung sollen nach Ansicht einiger Autoren die Bruchenden möglichst in Berührung stehen; nach KÜNTSCHER und OSTAPOWICZ kann die Gewebsdifferenzierung auch bei fehlendem Kontakt der Bruchstücke stattfinden.

Die regelrechte Differenzierung des mesenchymalen Gewebes läuft nach Ansicht der meisten Autoren erst unter determinierenden mechanischen Einflüssen ab; nach anderen Literaturangaben lösen Induktion oder auch mechanische Faktoren und Induktion zusammen die Differenzierung aus. Allerdings lehnt GEISER eine Differenzierung des mesenchymalen Gewebes grundsätzlich ab; seine Auffassung soll später dargelegt werden.

Während der Frakturheilung finden nach BÜRKLE DE LA CAMP ständig geringe Bewegungen statt, besonders durch den intermittierenden Tetanus der frakturnahen Muskulatur (BRANDT, BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR, LEXER, MAATZ, E. REHN), sodaß der Fraktursitus ständigen Bewegungsreizen unterliegt. Diese Bewegungsreize haben auf die Differenzierung in Abhängigkeit von der mechanischen Beanspruchung eine formative Bedeutung erster Ordnung (BLOCK, BRANDT, BÜRKLE DE LA CAMP, KROMPECHER, LUNGMUSS, PAUWELS), sodaß entsprechend den mechanischen Verhältnissen aus dem unspezifischen mesenchymalen Gewebe chondrogener oder desmogener Kallus entsteht. Nach KÜNTSCHER ist allerdings die differenzierende Wirkung mechanischer Kräfte

umstritten; PAUWELS hat am Beispiel des Schenkelhalsbruches die Bedeutung mechanischer Faktoren jedoch nachgewiesen.

BLOCK; BRUCK u. MOSER; BÜRKLE DE LA CAMP; GARE, STICH u. BAUER; FEHR, HÄBLER, HELLNER, HILTBRUNNER, KROMPECHER, MAATZ; MAURER u. LECHNER; MÖRL, OSTAPOWICZ, PAUWELS, PETROKOV; SCHENK u. WILLENEGGER; SCHAUTZ und WATSON-JONES vertreten übereinstimmend die Auffassung, daß das unspezifische Keimgewebe unter dem günstigen mechanischen Reiz des Druckes im knorpeligen Kallus differenziert. Die Druckrichtung soll möglichst axial verlaufen (ANDERSON; GRUNDMANN u. LINKS; MATZEN, VITALLI, WITTMOSER). Nach ANDERSON, BÜRKLE DE LA CAMP, GELBKE; KARLINGER u. SAS und WATSON-JONES können auch Knorpelzellen gebildet werden, wenn die Fraktur nicht völlig immobilisiert ist; die Knorpelzellenbildung steht dabei in einem geraden Verhältnis zur Verschiebung, Abwinklung und mechanischen Bewegung der Frakturende (ANDERSON, BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR, MATZEN, SCHWARZ, SCHWIER). Die Abbiegung der Fragmente verursacht jedoch ein relativ langes Knorpelstadium (HILTBRUNNER). BLOCK, BÜRKLE DE LA CAMP; GRUNDMANN u. LINKS; HEUSER und KÜNTSCHER nehmen an, daß der Dauerdruck gering gehalten werden muß, weil zu starker Druck die Kallusbildung verhindert und die Nekrose am Frakturende verstärkt; aus diesem Grunde soll nur Berührungsdruck einwirken.

Nach KROMPECHER, LUNGMUSS und SCHENK u. WILLENEGGER ist der chondrogene Druckkallus bei guter Stabilität spärlicher, aber widerstandsfähiger und von besserer Qualität als der bindegewebige Kallus. BLOCK, MAURER u. LECHNER und WATSON-JONES vermuten, daß unter Bewegungsreizen eine übermäßige Knorpelbildung eintritt und die Knochenbildung endgültig verhindern kann.

Unter der Einwirkung von Zugkräften bildet sich vorwiegend bindegewebiger Kallus; die Fibroblasten ordnen sich nicht parallel, sondern entsprechend der Mechanik der Zugkräfte senkrecht zur Längsachse an (HEUSER, PETROKOV). BLOCK und GEISER führen aus, daß durch übermäßigen Zug

die Frakturspalten vergrößert werden, sodaß nach VITALLI Bindegewebe einwuchern kann, welches die Osteogenese blockiert. Außerdem werden die Gefäße und Weichteile überdehnt; übermäßiger Dauerzug führt nach L. BÖHLER zu einer verzögerten Konsolidation, weil die Muskulatur in ihrer notwendigen Übererregbarkeit herabgesetzt wird (BÜRKLE DE LA CAMP). Nach GEISER wird durch Extension eine post-traumatische Osteoporose begünstigt.

Mechanisch ungünstig für die indirekte Frakturheilung sind Schub-, Scher- und Torsionsspannungen im Frakturbereich, die zur Fehldifferenzierung führen. Dabei bildet sich ein straffes, aber unstabiles und narbig-faseriges Bindegewebe, welches den Markraum blockiert und Ursache einer Pseudarthrose sein kann (BLOCK, BRANDT, OSTAPOWICZ, PETROKOV, SCHWARZ, WRAY). Nach EHALT kann bei der Pseudarthrosenbildung geringe oder überschüssige Kallusbildung vorliegen.

BLANKE, GELBKE, MAATZ, MATZEN; MAURER u. LECHNER und SCHWARZ vertreten die Auffassung, daß die regelrechte Differenzierung der mesenchymalen Gewebe durch Ruhigstellung wesentlich begünstigt wird. Bei völliger Ruhe am Frakturspalt entsteht nach MAURER und LECHNER ein rein desmogen differenzierter Kallus. Nach MATZEN führen Druckkräfte allerdings nicht zu einer besseren Kallusbildung.

Vertreter der Induktionstheorie oder einer kombinierten induktiven und mechanischen Auffassung sind vor allem ANNERSTEN, BLOCK, BÜRKLE DE LA CAMP, GELBKE, HELLNER, MAURER und LECHNER. Nach KÜNTSCHER wird das mesenchymale Gewebe ausschließlich durch Induktion zu Knochen, wenn es nicht durch Druck zerquetscht und durch Zugkräfte zerissen wird; nach KÜNTSCHER gibt es keine reine Druck- oder Zugkrafteinwirkung, da unter Druck senkrecht zur Längsachse immer gleichzeitig eine Zugkraft entsteht. Aus diesem Grunde führen nach KÜNTSCHER mechanische Kräfte am Frakturspalt zur Zerstörung, jedoch nicht zur Differenzierung des Keimgewebes; Druck zerstört alle Zellen, Zug nur eine Lage von Zellen.

Nach BÜRKLE DE LA CAMP werden bei der Fraktur Wirkstoffe freigesetzt, die den geschädigten Knochenzellen entstammen und das unspezifische mesenchymale Gewebe reizen; das Periost ist nach BÜRKLE DE LA CAMP im Stadium der Proliferation besonders gut induzierbar.

Nach BLOCK entsteht der induktive Wirkstoff aus der verkalkenden Osteoidsubstanz. Nach anderen Autoren (ANNERSTEN, MAATZ) handelt es sich um ein Hormon mit osteogener Wirkung (K-Faktor), das entweder aus entzündlich gereizten und abgestorbenen Knochenzellen oder aus perivaskulärem Bindegewebe (MAURER u. LECHNER) stammt.

Nach Auffassung der genannten Autoren wird die Differenzierung des mesenchymalen Gewebes zumindest teilweise oder ausschließlich (ANNERSTEN, KÜNTSCHER) durch Induktion ausgelöst; anschließend kann die Verknöcherung der ausdifferenzierten Gewebe eingeleitet werden.

GEISER lehnt einen differenzierenden und damit osteogenetischen Einfluß von mechanischen Kräften und Induktion ab. Er vertritt die Auffassung, daß die Kallusbildung bei der Frakturheilung entweder im direkten Ossifikationsgang oder über ein fibröses oder knorpeliges Zwischenstadium aus Zellen, die dem Knochen eng anliegen, verläuft. Er unterscheidet je nach Art der Konsolidation die primäre und sekundäre Knochenneubildung. Nach GEISER wandelt der zellreiche Knorpel im weiteren Verlauf der sekundären Knochenneubildung sich entweder in Knochen oder in weiterdifferenzierten Knorpel um, der später im enchondralen Ossifikationsgang durch Knochen ersetzt wird oder bleibt. Der osteoblastische und chondroblastische Kallus entsteht nach GEISER in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit des Periostes; er bildet eine Spindelform und belegt die Innen- und Außenfläche der Kortikalis bis zu zehn Zentimetern von der Fraktur entfernt. Nach ANDERSON und GEISER bedeutet der sekundäre enchondrale Ossifikationsgang eine erhebliche Verzögerung der Konsolidation. Nach GEISER ist axialer Druck nur deshalb günstig für die Frakturheilung, weil der Druck eine gute Fixation der Fragmente bewirkt, während schädliche Zug- und Scherkräfte zu einer

Lockerung der Frakturflächen mit Zerreißung des jungen Gewebes führen. Nach Auffassung von GEISER kann in Übereinstimmung mit BLANKE, GELBKE, MAATZ, MATZEN, MAURER u. LECHNER und SCHWARZ nur bei absoluter mechanischer Ruhe Kallus im direkten Ossifikationsgang entstehen.

Das dritte Stadium der indirekten Frakturheilung ist der Abschnitt der endgültigen Kallusbildung und des Abschlusses der Frakturheilung; der Zeitpunkt liegt zwischen der dritten und zehnten Woche nach der Fraktur (BLOCK, BRANDT, BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR, GEISER, HELLNER, HILTBRUNNER, KÜNTSCHER, MAATZ; MAURER u. LECHNER; MÖRL, SCHAUTZ, WATSON-JONES, WRAY). In dieser Zeit wird jedes Trabekel des ungeordneten provisorisch-knöchernen Kallus formiert, der neue lamelläre Knochen bildet sich sehr langsam in geschlossener Anordnung (DE PALMA, SCHWARZ, WATSON-JONES). Der Ersatz des provisorischen Kallus scheint hauptsächlich vom Periost und nur geringfügig vom Endost auszugehen (GEISER).

Im weiteren Verlauf wird der Periost- und Markkallus zurückgebildet, die Frakturstelle wird innen und außen glatt. Die Markhöhle wird durchgängig. Auch für diese Vorgänge ist die Beanspruchung des Knochens wesentlich, nach BÜRKLE DE LA CAMP und KÜNTSCHER besonders der Einfluß wechselnder Druck- und Zugkräfte.

Nach GIEBEL tritt zum Zeitpunkt der Konsolidation eine Durchblutungsverminderung ein, die nach BAUMGARTL, GREMMEL und WILLMANN auf einer geringeren Strömungsgeschwindigkeit beruht. Die anfängliche Gefäßerweiterung geht mit zunehmender knöcherner Festigung zurück, während der Gefäßabfluß nach der Konsolidation bei gesteigertem Muskeltonus wesentlich schneller verläuft (GIEBEL; BAUMGARTL, GREMMEL u. WILLMANN).

b. Direkte (angiogene) Knochenbruchheilung.

Definition und Voraussetzungen zur primären Heilung.

Nach KROMPECHER und PETROKOV kann neben der chondrogenen und desmogenen Knochenneubildung eine direkte, angiogene Frakturheilung eintreten, wobei im Gegensatz zur indirekten Knochenbildung der Umweg über Knorpel- und Bindegewebszellen nicht beschritten wird.

Im angiogen entstandenen Knochen liegen runde Zellen, in der Zwischensubstanz spärliche Gefäße und die Reste der Gefäße, von denen ursprünglich die Knochenneubildung ausgegangen ist (KROMPECHER, PETROKOV); der angiogene Kallus ist nach KARLINGER und SAS besser als chondrogener und desmogener Kallus.

Nach neueren Untersuchungen kann nur nach operativer Frakturenbehandlung mit stabiler Osteosynthese eine direkte Frakturheilung erwartet werden.

1949 hat DANIS erstmals die direkte Knochenbruchheilung beschrieben und als 'Soudure autogène' bezeichnet. Nach seinen Beobachtungen war der Regenerationsprozess nur auf die Frakturlinie beschränkt und verlief linear ohne Beteiligung der umgebenden Gewebe. Eine Periostreaktion, die bei der indirekten Frakturheilung im Vordergrund steht, ist nach DANIS bei der direkten Heilung überflüssig; das Periost liefert nur verirrte Spuren, die nicht an der Konsolidation beteiligt sind. DANIS gelangte auf Grund dieser Beobachtungen zu der Auffassung, daß die Frakturheilung mit Kallusbildung als Störung im Sinne einer pathologischen Sekundärheilung anzusehen ist.

ANDERSON, EHALT, FEHR, GREIFENSTEINER, HILTBRUNNER, JANTZEN, VIERNSTEIN u. TÄGER haben gelegentlich bei stabilen Frakturen Heilungen ohne periostale Kallusbildung beobachtet. Im Gegensatz zu DANIS meinen die genannten Autoren jedoch, die Konsolidation gehe vorwiegend oder ausschließlich vom Endost aus; die endostale Frakturheilung dauert nach VIERNSTEIN und TÄGER allerdings wesentlich länger als die periostale.

In neuerer Zeit sind die frühen Beobachtungen von DANIS wieder aufgenommen worden; die Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen hat besonders umfangreiche Untersuchungen zu diesem Komplex durchgeführt. Dabei wird heute die angiogene Knochenbruchheilung im medizinischen Sprachgebrauch als primäre Heilung oder per-primam-Ossifikation einer Fraktur bezeichnet (VITALLI).

Voraussetzung für eine per-primam-Ossifikation ist nach Auffassung der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) eine exakte und stabile Osteosynthese nach anatomischer Adaption einer Schaftfraktur; unter diesen Bedingungen verläuft die Primärheilung ohne jede im Röntgenbild sichtbare Kallusbildung (BERENTHEY, CORRODI, HILTBRUNNER; KARLINGER u. SAS; MATZEN, OSTAPOWICZ; SCHENK u. WILLENEGGER; VITALLI, WIESER). Nach KÜNTSCHER muß das Repositionsergebnis für die Dauer der Frakturheilung unverändert erhalten bleiben.

Weitere Voraussetzungen für eine primäre Heilung sind völlige Ausschaltung von schädlichen mechanischen Reizen und mechanische Ruhe (ANDERSON, BERENTHEY; DECOULX u. RAZEMON; EGGERS, AINSWORTH, SHINDLER u. POMERAT; FRIEDENBERG u. FRENCH; KROMPECHER, KÜNTSCHER, MAATZ, PAUWELS, PETROKOV, ROUX).

Druck übt nach ANDERSON, BERENTHEY; DECOULX u. RAZEMON; DANIS, DE MONTMOLLIN; FRIEDENBERG u. FRENCH; GREIFENSTEINER, KROMPECHER, KÜNTSCHER (1964), MAATZ, MATZEN, PAUWELS, PETROKOV, ROUX, VITALLI, WAGNER; WILLENEGGER, SCHENK, STRAUMANN, M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. KRÜGER und WITTMOSER während der primären Frakturheilung auf die Heilungsvorgänge eine nachhaltige Wirkung aus. Der günstige Einfluß des Druckes wurde schon 1956 von M.E. MÜLLER bei Untersuchungen am spongiösen Knochen beobachtet. Es ist heute allerdings noch nicht erwiesen, ob Druck, wie von GRUNDMANN u. LINKS, MATZEN und WITTMOSER vermutet wird, neben anatomischer Adaption und absoluter Stabilität bei der Differenzierung der mesenchymalen Gewebe einwirkt. Nach DE MONTMOLLIN beschleunigt Druck die Konsolidation durch Einwirkung auf die Osteogenese. Nach HÄBLER wird zusätz-

lich zur osteogenetischen Druckwirkung eine Bruchspaltverkleinerung ausgelöst.

Nach den experimentellen Untersuchungen von FRIEDENBERG und FRENCH steht die Art der Frakturheilung bei Druckanwendung in Relation zur sicheren Fixation und Einstauchung; nach Ansicht auch dieser Autoren ist noch ungewiß, ob Druckeinwirkung einen spezifischen osteogenetischen Faktor auslöst. Zu geringer oder fehlender Druck führte im Experiment zu einer stark verzögerten Heilung (EGGERS, AINSWORTH, SHINDLER u. POMERAT; FRIEDENBERG u. FRENCH). Nach Auffassung von EGGERS u. Mitarbeitern, DECOULX u. RAZEMON, GREIFENSTEINER, PETROKOV und VITALLI soll eine dauernde optimale Druckeinwirkung vorliegen. Nach PETROKOV stehen die langen Röhrenknochen normalerweise schon unter Dauerdruck und sollten deshalb mit Druckanwendung behandelt werden; im Hundexperiment beobachtete PETROKOV eine bessere Fragmentfixation und eine Beschleunigung der Heilung.

Nach EGGERS, AINSWORTH, SHINDLER u. POMERAT, GREIFENSTEINER und VITALLI ist derjenige Druck günstig und optimal, der normalerweise von der Muskulatur ausgeübt wird und der normalen Belastung von Röhrenknochen entspricht. Nach WAGNER kann das Knochengewebe einen mechanischen Druck, der im physiologischen Bereich liegt, lange Zeit ohne Knochenabbau tolerieren.

Nach GREIFENSTEINER, GRUNDMANN u. LINKS, MATZEN und VITALLI soll der Druck in axialer Richtung an den Bruchflächen angreifen. Nach ANDERSON und WITTMOSER muß der Druck ununterbrochen einwirken, sowohl in der Längsrichtung des Knochens als auch senkrecht zur Bruchebene (WITTMOSER).

Nach DE MONTMOLLIN; EGGERS, AINSWORTH, SHINDLER u. POMERAT; FRIEDENBERG u. FRENCH; MATZEN, WAGNER; WILLENEGGER, SCHENK, STRAUMANN, M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. KRÜGER führt eine zu starke Druckeinwirkung zur Unterbrechung der kapillaren Durchblutung und zu einer Bionekrose des Knochens.

Deshalb kann nach ANDERSON, ECKE, KARLINGER u. SAS, KÜNTSCHER, RINIKER, SCHENK u. WILLENEGGER, VITALLI und WIESER nur dann von einer Primärheilung einer Schaftfraktur ge-

sprochen werden, wenn die Vereinigung der Bruchenden im Sinne von DANIS ohne oder höchstens mit minimalem Kallus aus Bindegewebe, Knorpel und Faserknochen erfolgt. Der Frakturspalt wird bei der primären Heilung direkt durch hochorganisierten Lamellenknochen ausgefüllt. Faserknochen ist nach den genannten Autoren nur eine Form des Knochengewebes, die im weiteren Verlauf durch Lamellenknochen ersetzt werden muß, und entsteht an Stellen, an denen Defekte auszugleichen sind. Lamellenknochen kann sich aber nur bei mechanischer Stabilität und optimaler Druckanwendung direkt bilden, sodaß mechanische Faktoren bei der primären Heilung nach Auffassung der genannten Autoren einen gewebstdeterminierenden Einfluß ausüben und eine per-primam-Ossifikation erst ermöglichen.

Zeitlicher Ablauf der primären Frakturheilung.

Nach den Untersuchungen, die im Auftrage der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen erfolgten, gestaltet sich der Ablauf der primären Knochenbruchheilung wie folgt:

Bei optimaler Druckanwendung und anatomischer Adaption füllen sich die Frakturspalten mit Gewebe aus dem Markkanal, vom Periost und aus den HAVERSschen Kanälen. Nach ANDERSON steht bei diesen Vorgängen der Markraum im Vordergrund. Von den HAVERSschen Kanälen aus sprossen dünnwandige Gefäße ein, die von einem zellreichen Bindegewebe begleitet werden (RINIKER; SCHENK u. WILLENEGGER). Eine genaue Adaption der Fraktur mit möglichst kleinem Frakturspalt hält nach VITALLI die Bindegewebseinwucherung gering und begünstigt die spätere direkte Heilung. Bei stabiler Fixation verlaufen die Prozesse an der Oberfläche der Fragmente entsprechend den intermediären Räumen (KÜNTSCHER) und sind dem Knochenanbau entlang den HAVERSschen Kanälen vergleichbar (RINIKER; SCHENK u. WILLENEGGER; WIESER u. ALLGÖWER).

Da die Vitalität der Zellen im Kanalsystem der Kompakta von der Blutversorgung abhängt, kommt es nach der Fraktur zunächst zu einer gewissen Devitalisierung der Fragmentenden; das Ausmaß der Devitalisierung wird von der Zahl

der Anastomosen, vom Ausmaß der Periostverletzung und von der Schädigung der Markraumgefäße bestimmt (SCHENK u. WILLENEGGER).

Die Osteozyten bleiben auch ohne Blutversorgung für ein bis zwei Wochen durch Diffusion lebensfähig (WELLER), sodaß erst bei extremer Verminderung der Blutzufuhr eine Knochennekrose eintritt (EBERT), die nach RINIKER und M.E. MÜLLER im unmittelbaren Frakturbereich eine Totalnekrose ist. Danach folgt eine schmale Zone mit nekrotischem Knochengewebe mit vital erhaltenen, jedoch dystrophisch geschädigten HAVERSSchen Kanälen. Nach ANDERSON kommt die Nekrose der Kortikalisenden nur bei fehlender Kompression und bei Fragmentlockerung zustande, nach WELLER vor allem bei ungenauer Adaption und nicht stabiler Osteosynthese. Nach GEISER tritt zwangsläufig immer eine Nekrose der Fragmentenden ein.

In der dritten Woche nach der Fraktur beginnt von den vital gebliebenen HAVERSSchen Abschnitten aus der schleichende Ersatz der nekrotischen Abschnitte. Die ernährenden und für die Knochenbildung erforderlichen Gefäße stammen nach SCHENK und WILLENEGGER aus den eröffneten HAVERSSchen Kanälen und aus dem Markkanal. Etwas entfernt vom Frakturspalt findet man Abbauvorgänge (RINIKER; SCHENK u. WILLENEGGER). Danach folgen weite Blutgefäße, Gefäßkanäle (RINIKER) und mesenchymale Zellen, die zu Osteoblasten modulieren und bei stabiler Fixation die Oberfläche mit einem epitheloiden Verband belegen (SCHENK u. WILLENEGGER). Nach VITALLI wuchert jedoch bei verzögertem oder mangelndem Anschluß an die Gefäßversorgung Bindegewebe in den Frakturspalt ein und bildet eine zusätzliche Schranke für das vordringende angiogene Gewebe. Mit verbesserter Durchblutung lagern die Osteoblasten schichtweise Lamellenknochen ab und engen so den Frakturspalt ein, wobei diese Reaktionszonen im weiteren Verlauf schrittweise entlang den längsverlaufenden HAVERSSchen Kanälen zum Bruchspalt vorrücken und dort allmählich eine kompakte Struktur bilden (RINIKER). Wie KARLINGER u. SAS im Tierexperiment beobachteten, handelt es sich histologisch zunächst um ein spon-

giös-osteoides Gewebe, das den interfragmentären Spalt ausfüllt, peripher von den äußeren und endostal von den inneren Oberflächen der Fragmente ausgeht und sich proximal und distal der Fraktur allmählich verdünnt. Nach KARLINGER u. SAS und anderen Autoren enthält dieses Gewebe keinen Knorpel; die Höhlen des osteoiden Strukturgefüges sind mit weiten Blutgefäßen und lockerem mesenchymalen Gewebe im Sinne eines angiogenen Kallus ausgefüllt.

Nach MAATZ und RINIKER entstehen unter dem Einfluß der zunehmenden Vaskularisierung am Bruchspalt vorübergehend die Bedingungen eines Spongiosa-Bruches; die Beobachtungen von M.E. MÜLLER von 1956 am Spongiosa-Bruch können nach heutiger Kenntnis auf den kompakten Knochen übertragen werden.

Bereits nach Ablauf von vier Wochen bestehen am Frakturspalt Osteone, Regenerate aus primärem Lamellenknochen (SCHENK u. WILLENEGGER). Bei der Primärheilung wird nach SCHENK und WILLENEGGER nicht nur der Frakturspalt durch primären Lamellenknochen aufgefüllt. Gleichzeitig erfolgt durch einen Regenerationsprozess, der von der Kortikalis selbst getragen wird, eine Wiedervereinigung der Frakturenden mit Wiederherstellung der ursprünglichen Kortikalisstruktur (RINIKER; SCHENK u. WILLENEGGER), sodaß auch die Kortikalis einen wesentlichen Beitrag zur Frakturheilung leistet. Diese Beobachtungen wurden von ECKE im Tierexperiment bestätigt. Nach SCHENK und WILLENEGGER werden dabei durch Druckeinwirkung die Kortikalisenden aufeinander gepreßt und anschliessend von regenerierten HAVERSschen Systemen durchwachsen.

Auf Grund der Tierversuche ist auch ECKE der Ansicht, daß die direkte Verheilung der HAVERSschen Systeme am kompakten Knochen als primäre Wiedervereinigung und somit angiogene Knochenreaktion aufzufassen ist, die nach ECKE, KÜNTSCHER, WELLER und WIESER den Beobachtungen von DANIS entspricht.

Der Abschluß der primären Knochenbruchheilung ist röntgenologisch am Verschwinden des Frakturspaltes zu erkennen, ohne daß eine sichtbare Kortikalisverdickung oder Periostreaktion zu verzeichnen ist; allerdings ist oft nach einer

exakten Osteosynthese der Frakturspalt so schmal, daß eine primäre Heilung vorgetäuscht werden kann (KARLINGER u. SAS; WILLENEGGER, SCHENK, STRAUMANN, M.E. MÜLLER, ALLGÖWER und KRÜGER).

Nach RINIKER treten an den Weichteilen während der primären Heilung unter einer funktionellen Übungsbehandlung rasch normale Tonus- und Durchblutungsverhältnisse ein.

Störung der primären Frakturheilung.

WILLENEGGER, SCHENK, STRAUMANN, M.E. MÜLLER, ALLGÖWER und KRÜGER verzeichneten in 60 % aller beobachteten Fälle eine per-primam-Ossifikation.

Breiter- und Deutlicherwerden des Frakturspaltes bedeutet jedoch zunehmenden Abbau an den Fragmentenden (ANDERSON, WIESER). Gleichzeitig pflegt sich Kallusbildung einzustellen, die eine Störung der primären und Übergang zur sekundären Heilung anzeigt. Der Kallus entsteht nach RINIKER auf Grund anhaltender dystrophischer Störungen in den peri- und parossalen Geweben und im Markraum als Folge der Instabilität, die nach TRUETA eine Zerstörung der neugebildeten Gefäße verursacht. Nach KÜNTSCHER (1964) ist übermäßige Kallusbildung ein Zeichen starker Entzündung, die durch eine operative Periostschädigung verstärkt werden kann.

Bei histologischer Untersuchung bemerkt man bei gestörter Primärheilung eine fibröse oder fibrocartilaginäre Zone, die sekundär mit Verzögerung ossifizieren muß. Die Verzögerung entspricht dem aus der konservativen Behandlung bekannten Frakturheilungsschema (ALLGÖWER, CORRODI, GEISER; KARLINGER u. SAS; MATZEN, M.E. MÜLLER, RINIKER; SCHUMPELICK u. JANTZEN; TRUETA; WIESER u. WILLENEGGER).

Bei anhaltender Unstabilität entsteht unter Kalluszunahme ein unstrukturierter Reizkallus (CORRODI, EHALT, GEISER, MATZEN; KARLINGER u. SAS; SCHUMPELICK u. JANTZEN; WIESER), der sich nach den genannten Autoren bei Entlastung und konsequenter Ruhigstellung in Fixationskallus zurückbilden kann. Reizkallus tritt allerdings auch bei konservativer Frakturenbehandlung auf, sodaß die Rückbildung in Fixati-

onskallus wiederum der von der konservativen Behandlung bekannten kallösen Heilung entspricht (WIESER).

Im Fixationskallus bestand nach KARLINGER u. SAS bei feingeweblicher Untersuchung Knorpel, der nach RINIKER durch Mikrobewegungen zwischen den Fragmentenden und Läsion der neugebildeten Gewebe verursacht wird.

Ablehnung der primären Frakturheilung.

GEISER lehnt die primäre Knochenbruchheilung grundsätzlich entschieden ab und begründet seine Auffassung wie folgt:

Eine Primärheilung ist selbst bei idealer Adaption durch die Nekrose der Frakturenden ausgeschlossen. Die Nekrose wird in histologischen Schnitten immer beobachtet. Sie wird durch die longitudinale Gefäßversorgung des Knochens infolge der besonderen Anordnung der HAVERSSchen Kanäle mit nur wenigen queren Anastomosen verursacht, sodaß die Fragmentenden immer in einem gewissen Abschnitt avaskulär werden; allerdings tritt nach GEISER nie eine Resorption der Bruchenden um mehrere Millimeter (L. BÖHLER) ein; eine Verkürzung ist deshalb nicht unbedingt anzustreben. Andererseits leisten die Fragmentenden keinen Beitrag zur Frakturheilung, da die Osteozyten von der Mitose ausgeschlossen sind. (Nach ANDERSON leisten die Fragmentenden nur bei der Marknagelung infolge Endostzerstörung keinen Beitrag zur primären Heilung.)

Nach GEISER werden die nekrotischen Knochenenden von den Gefäßen des neugebildeten periostalen und endostalen Kallusknochens aus schleichend ersetzt; ausbleibender periostaler Kallus nach einer Osteosynthese ist Folge der operativen Periostschädigung. Der direkte Ossifikationsgang ohne knorpeliges Vorstadium ist keine Primärheilung, da die Primärheilung an den Fragmentenden und nicht an Periost und Markkanal ablaufen muß. Die sogenannte Primärheilung ist Folge der Schädigung des Knochenbindegewebes mit momentaner Erschöpfung der osteogenetischen Regenerationspotenz; die starke Verzögerung der periostalen Kallusbildung durch die Osteosynthese bedeutet, daß die periostale Kallusbildung erst nach Monaten ablaufen kann. Da

die Kortikalis ihre Blutversorgung von Periost und Markkanal erhält, bedeutet nach GEISER jede operative Störung eine Verzögerung der Regeneration.

Auch bei genauer anatomischer Adaption der Fragmente weicht die Frakturheilung nach GEISER nicht vom bekannten Schema ab, weil auch bei sofortiger und genauer Reposition eine Frakturendennekrose eintritt. Außerdem ist eine genaue anatomische Adaption wegen der sicher eintretenden Nekrose nicht immer günstig, weil sie den Ersatz der nekrotischen Kortikalis durch Vaskularisierung hemmen kann. Mechanische Ruhe am Frakturspalt ist für die Frakturheilung günstig; in solchen Fällen beobachtet man nur einen als Hauch sichtbaren Kallus im Sinne der Knochenbildung nach direktem Ossifikationsgang, der nicht mit der sogenannten primären Frakturheilung verwechselt werden darf (GEISER).

III. ZWEITER HAUPTTEIL.

Der Unterschenkelrehbruch und seine Behandlung.

A. Der Unterschenkelrehbruch.

Entstehungsmechanismus, Häufigkeit, Lokalisation und Form des Unterschenkelrehbruches.

Die maximale Druck- und Zugbelastung des Knochens ist nach SCHAUTZ zwei- bis viermal so groß wie die maximale Scher- und Torsionsbelastung. Wird Knochen einer Torsionskraft ausgesetzt, so entstehen an ihm nach SCHWARZ und SJÖVALL kreisförmige Torsions- und Scherspannungen, die in allen zur Torsionsachse senkrechten Ebenen verlaufen; Zug- oder Druckspannungen bestehen nicht. Bei Überschreiten der Zerreißgrenze tritt die Fraktur an der im Verhältnis zur Festigkeit am meisten belasteten Stelle ein (SJÖVALL).

Der Unterschenkelrehbruch entsteht indirekt entweder bei feststehendem Fuß und Drehung des Körpers oder umgekehrt

bei fixiertem Körper und Drehung der Extremität (L. BÖHLER, HELLNER, HÜBNER, KÜNTSCHER; MAURER u. LECHNER; MEIER-STAUFFER, J. REHN, SCHWARZ). Der zuerst genannte Unfallmechanismus ist nach HÜBNER häufiger. Dabei wirken proximal der Schenkelhals und distal der eingekeilte Fuß gegeneinander als Querhebel (MEIER-STAUFFER).

Nach L. BÖHLER ist der Drehbruch die häufigste Bruchform. Nach J. REHN beträgt die Häufigkeit des Unterschenkeldrehbruches 15 %, nach MEIER-STAUFFER 30,3 % aller Frakturen. Andere Autoren geben Zahlen anderer oder ähnlicher Größenordnung an (Tab. 1 und 2).

Tab. 1: Häufigkeit der Unterschenkeldrehbrüche.

	Gesamtzahl d. U.Sch.Brüche	Zahl d.U.Sch. Drehbrüche	%-Zahl der Drehbrüche
BLUM	700	307	42,3 %
BRUCK u. MOSER	2.235	2/3	66,6 %
EGGELING, PANZNER u. HÜBNER	328	108	32,9 %
ENDER, KROTSCHEK, JAHNA	3.308	647	19,5 %
HUBER	191	86	45,0 %
KEIL	416	1/2	50,0 %
KUSS	423	1/2	50,0 %

Tab. 2: Häufigkeit der Unterschenkel- und der isolierten Tibiadrehbrüche.

	Zahl d.U.Sch. Drehbrüche	Anteil d.is. Tibiadrehbr.	Anteil d.U. Sch.Drehbr.
BLUM	307	13,7 %	86,3 %
ENDER, KROTSCHEK, JAHNA	647	27,6 %	72,4 %
HUBER	108	12,0 %	88,0 %
KESSLER	105	6,7 %	93,3 %
P. MÜLLER	42	47,7 %	52,3 %
STOLLMANN	41	26,8 %	73,2 %
STUCKE u. STOLLMANN	41	19,5 %	80,5 %

Nach SJÖVALL tritt der Unterschenkeltorsionsbruch meistens an der schwächsten Stelle des relativ wenig gleichmäßigen Tibiaschaftes ein. Die schwächste Stelle liegt in Höhe des kleinsten Tibiadurchmessers an der Übergangsstrecke der S-Krümmung und am Wechsel der Querschnittsform (HÜBNER; GRUNDMANN u. LINKS; KÖNIG; VON LANZ u. WACHSMUTH; LENTZ, MEIER-STAUFFER): Dies ist am Übergang vom mittleren zum unteren Tibiadrittel der Fall (BLUM, L. BÖHLER, BÖTTGER, DEBRUNNER; EGGEILING, PANZNER u. HÜBNER; EHALT; ENDER, KROTSCHKEK u. JAHNA; GRUNDMANN u. LINKS; HELLNER, HÜBNER, JANTZEN, KÖNIG, MEIER-STAUFFER, USADEL).

Nach den Erfahrungen anderer Autoren liegt der Unterschenkelrehbruch vorwiegend im distalen Tibiadrittel (BERCHTOLD; COUCHOIX, DUPARC, DUBARGE u. CARACOSTAS; HÄUPTLI, KEIL, KRANEPUHL, KUSS, LENTZ, MÖRL; SCHUMPELICK u. JANTZEN; STOLLMANN) oder unterhalb der Tibiamitte (MÖRL). Nach STOLLMANN beträgt das Verhältnis beim Drehbruch zwischen dem mittleren und unteren Unterschenkeltrittel 1:7, nach EGGEILING, PANZNER u. HÜBNER das Verhältnis zwischen dem Übergang vom mittleren zum unteren Drittel und dem unteren Drittel 10:1.

Tab. 3: Bevorzugte Lokalisation des Unterschenkelrehbruches.

	Frakturort am:		
	mittleren Drittel	Übergang	unteren Drittel
BLUM		89,5 %	
COUCHOIX, DUPARC, DUBARGE u. CARACOSTAS			52,3 %
ENDER, KROTSCHKEK, JAHNA		71,4 %	13,7 %
GRUNDMANN u. LINKS		80,0 %	
KEIL			50,0 %
KRANEPUHL			26,5 %
KUSS	30,0 %		60,0 %

Der Unterschenkeldrehbruch zeigt eine typische Bruchform. Nach LENTZ sind allerdings die Muskelgruppengrenzen am Unterschenkel nicht für Bruchform und Dislokation verantwortlich. Da nach SJÖVALL die Unterschenkeldrehfraktur als transversale Scherfraktur beginnt, verläuft die Bruchlinie in der Drehrichtung gleichsinnig zur Richtung der einwirkenden Gewalt im Sinne der Außen- oder Innendrehung weiter (GARE, STICH u. BAUER; HÜBNER; MAURER u. LECHNER, SCAGLIETTI u. STRINGA; SCHWARZ).

Der Verlauf der Bruchlinie ist von der Geschwindigkeit der Drehung abhängig; je langsamer die Drehung erfolgt, desto steiler wird die Bruchrichtung. Bei schneller Drehung ist die Bruchrichtung flach (EHALT; MAURER u. LECHNER). In Relation zur Geschwindigkeit entsteht ein schraubenförmiger langer, kurzer oder halber Außen- oder Innenrotationsbruch mit zwei schrägen, einander gegenüberliegenden Bruchflächen mit schiefer Ebene (L. BÖHLER).

Nach Darstellung von L. BÖHLER, EHALT; ENDER, KROTSCHKE u. JAHNA; HAUCK, HELLNER, HÜBNER, VON LANZ u. WACHSMUTH und MÖRL verläuft die Bruchebene beim langen Drehbruch in Form einer steilen Schraube entlang der Kortikalis der medialen und lateralen Fläche der Tibia und über ihre Vorderkante. Nach KÜNTSCHER entstehen beim langen Drehbruch außerordentlich große Bruchflächen mit langen und spitzen Fragmenten.

Kurze Drehbrüche zeigen eine flache Schraubenform; die Enden des Torsionsbruches sind durch die sogenannte Schlußfraktur an der Tibiahinterfläche miteinander verbunden.

Beim halben Drehbruch liegt die Schlußfraktur nicht nur in der Hinterfläche, sondern auch in der medialen und lateralen Tibiafläche und trifft dort auf die Schraube.

Beim Außenrotationsbruch verläuft die Bruchfläche von innen unten nach außen oben, beim Innenrotationsbruch von innen oben nach außen unten. Nach BÜTTGER sind die Außen- und Innenrotationsbrüche wesentlich häufiger als die Einwärtsdrehbrüche; GRUNDMANN u. LINKS haben bei 406 Unterschenkeldrehbrüchen in 85 % Außenrotationsfrakturen festgestellt. ENDER, KROT-

SCHEK u. JAHNA beobachteten bei 647 Unterschenkelrehbrüchen 96,14 % Außen- und 3,86 % Innenrotationsfrakturen. Nach MEIER-STAUFFER liegt bei 95 bis 98 % aller Drehbrüche eine Außenrotationsfraktur vor.

Nach ENDER, KROTSCHKEK u. JAHNA bestanden bei den Außenrehfrakturen 71,25 % lange, 6,96 % kurze und 21,79 % halbe Unterschenkelrehbrüche.

Drehkeilverhalten und Fibulafraktur.

Bei einer relativ großen Anzahl von Unterschenkelrehbrüchen treten Dreh- und Biegungskeile auf (EHALT, HELLNER, JANTZEN).

Tab. 4: Häufigkeit von Drehkeilen.

BERCHTHOLD	Drehkeile und Splitterbrüche in 24 %
L. BÖHLER	Vollständige oder unvollständige Drehkeile in 24 %
COUCHOIX, DUPARC, DUBARGE, CARACOSTAS	Drehkeilbildung in 34,9 %, Mehrfragmentenfrakturen in 9,1 %
HILTBRUNNER	Drehkeilbildung in 41,1 %, Mehrfragmentenfrakturen in 27,4 %
P. MÜLLER	Drehkeilbildung in 16,6 %
KESSLER	Drehkeilbildung in 16,3 %
KÖNIG	Drehkeilbildung in 12,1 %
MEIER-STAUFFER	Vollständige Drehkeilbildung in 17 %, unvollständige Drehkeile in 14 %

Die Fibula ist nach BRANDT und ROSENFELD gegenüber Biegungsgewalten widerstandsfähiger als die Tibia. Deshalb liegen nach GRUNDMANN u. LINKS beim Drehbruch Tibia- und Fibulafraktur oft weit auseinander. Nach BLUM, L. BÖHLER, BÖTTGER, DE PALMA, HELLNER, HÜBNER, JANTZEN, MAURER u. LECHNER und SCAGLIETTI u. STRINGA liegt die Fibulafraktur in Fortsetzung der Drehrichtung meist höher als der Tibiabruch; der sehr hochgelegene Wadenbeinbruch bedeutet nach HELLNER eine besondere Gefahr für eine Schädigung des N. fibularis. Nach BLUM und L. BÖHLER kann die Fibulafraktur auch am Übergang vom oberen zum mittleren Drittel, im mittleren Drittel oder supramalleolar eintreten.

ENDER, KROTSCHKEK u. JAHNA haben bei 468 Unterschenkelrehbrüchen die Lokalisation des Wadenbeinbruches wie folgt festgestellt (Tab. 5):

Tab. 5: Lage der Fibulafraktur im Verhältnis zum Tibiabruch.

	<u>höher</u>	<u>gleich hoch</u>
Langer Außendrehbruch	in 61,99 %	
Halber Außendrehbruch	in 70,23 %	
Kurzer Außendrehbruch	in 46,87 %	in 31,25 %
Innendrehbruch	in 30,77 %	in 61,54 %

Die Dislokation des Unterschenkelrehbruches.

Nach BÖHLER ist der Unterschenkelrehbruch nur in 20 % aller Fälle um volle Schaftbreite verschoben. ENDER, KROTSCHKEK und JAHNA haben aber festgestellt, daß nur bei 28,59 % der Drehbrüche eine Verschiebung und bei 31,99 % eine Verkürzung nicht vorlag. Nach RINIKER tritt beim Unterschenkelrehbruch nur selten eine spontane, primäre Fixation der Fraktur durch feste Verkeilung ein, besonders dann nicht, wenn zusätzlich eine Weichteilschädigung vorliegt; BRANDT und WITT teilen diese Auffassung. Nach HELLNER ist nur der isolierte Tibiadrehbruch selten disloziert; BÖTTGER und BRANDT haben jedoch auch am isolierten Tibiadrehbruch typische Fehlstellungen beobachtet. Nach KEIL sind die Unterschenkelrehbrüche selten kompliziert.

Bei der Dislokation des Unterschenkelrehbruches bestehen in erster Linie Verkürzungen und Verdrehungen, welche vorwiegend durch die schraubenförmig steilgestellte Bruchebene verursacht werden; diese begünstigt besonders eine rotatorische Fehlstellung der Bruchstücke (BÖTTGER, KRANEPUHL, MAATZ, PAUWELS; SCAGLIETTI u. STRINGA; SCHAUTZ, USADEL).

Neben der Bruchflächenform sind Muskelkräfte für die Dislokation besonders verantwortlich (L. BÖHLER; BRUCK u. MOSER; FEHR, ILLES, JANIK, KRANEPUHL, MAATZ; SCAGLIETTI u. STRINGA, SCHAUTZ), zumal nach JANIK sofort nach der Fraktur reflektorisch eine Muskelkontraktion eintreten kann.

Vor allem wird nach BRANDT die Torsionsfehlstellung durch Muskelgruppen verursacht, die nach der Fraktur durch die Dislokation eine andere Zugrichtung als vorher erhalten haben. Nach den Erfahrungen von HAUCK und MATZEN steht beim frischen Unterschenkelrehbruch die Verdrehung ebenfalls im Vordergrund, sodaß das untere Fragment nur noch mit einer Kante mit der Bruchfläche des oberen Fragmentes in Verbindung steht, während der übrige Bruchspalt weit klafft. Nach L. BÖHLER werden Verdrehungen und Achsenknickungen beim Unterschenkelrehbruch nur zu einem geringen Teil durch überspringende Muskeln verursacht; die Torsionsfehlstellung entsteht nach L. BÖHLER hauptsächlich durch Muskeln, die am kürzeren, gelenknahen Bruchstück entspringen oder ansetzen. Besonders beim halben Drehbruch wenden sich die Fragmente erheblich voneinander ab, sodaß häufig nur die Kortikalisflächen der Fragmente in Berührung stehen (L. BÖHLER). Nach ILLES ist bei den Unterschenkelrehbrüchen, die auf Grund ihrer Form schon zur Verdrehung neigen, die Muskulatur Hauptursache für die eingetretene Fehlstellung. BRANDT und WITT führen die Dislokation auf die Muskelaussparung der gesamten Tibiavorderkante zurück.

Nach L. BÖHLER wird die Verkürzung durch die Muskulatur erzeugt, welche beide Bruchstücke überspringt. Auf Grund der von JANIK angegebenen posttraumatischen reflektorischen Kontraktion erhält die Muskulatur der gebrochenen Extremität bald eine verminderte Null-Länge (BRUCK u. MOSER; FEHR, E. REHN).

Nach EGGELING, PANZNER u. HÜBNER tritt am Übergang vom mittleren zum unteren Unterschenkel Drittel vor allem durch den Zug der einseitig angeordneten Wadenmuskulatur eine Rekurvationsfehlstellung ein; GELBKE und RUSH vermuten, daß die Wadenmuskulatur eine Antekurvationsstellung auslöst.

Nach BRANDT bringt beim isolierten Tibiadrehbruch die am nicht verletzten Wadenbein ansetzende Muskulatur die Tibia in Fehlstellung, weil diese Muskelgruppen ihren knöchernen Halt nicht verloren haben. Nach BÖTTGER besteht beim isolierten Tibiatorsionsbruch auf Grund der Wadenbeinwirkung meist eine Dislokation im Varussinne und im Sinne der Re-

kurvation und Seitwärtsverschiebung. Nach L. BÖHLER kann auch die Schwerkraft der gebrochenen Extremität eine wesentliche Dislokation auslösen.

Tab. 6: Schematische Darstellung der Dislokation des Unterschenkelrehbruches.

Außendrehbruch	L. BÖHLER: Die Spitze des großen Fragmentes liegt medial der Tibiahinterfläche.
	BÖTTGER: Die Spitze des proximalen Fragmentes liegt medial.
	HAUCK: Verlagerung des unteren, aus der lateralen Tibiakante ausgebrochenen Fragmentes meist nach fibular.
	HÜBNER: Entsprechend dem Verlauf der Bruchebene erfolgt Verschiebung des oberen Fragmentes nach vorn, des unteren nach hinten oben.
Halber Drehbruch	L. BÖHLER: Eine Verschiebung um volle Schaftbreite ist häufig.
	BÖTTGER: Die Spitze des proximalen Fragmentes liegt in der Mitte.
Innendrehbruch	L. BÖHLER: Die Spitze des großen Fragmentes liegt lateral an der Tibiahinterfläche.
	BÖTTGER: Die Spitze des proximalen Fragmentes liegt lateral.

Weichteilinterposition und Frakturhämatom.

Beim Unterschenkelrehbruch wird in der Literatur die Weichteilinterposition unterschiedlich bewertet. Nach FORSSMANN ist die Muskelinterposition beim Unterschenkelrehbruch wesentlich häufiger, als allgemein angenommen wird. Nach HAUCK wird die Weichteilinterposition unterschätzt oder verkannt. Nach BLOCK, KÖNIG und STRELLI ist die Interposition nicht selten ein wesentliches Repositionshindernis. Auch FEHR hat bei der operativen Behandlung des Unterschenkelrehbruches oft Muskelinterpositionen festgestellt. GEISER, JANIK, KÜNTSCHER und VIERNSTEIN u. TÄGER betrachten eine Weichteilzwischenlagerung als mögliches Repositionshindernis. Nach FEHR, MATZEN, MÖRL, SCHWARZ und WITT verursacht eine Interposition zumindest eine verzögerte Frakturheilung; nach FEHR sind zwischen-

gelagerte Periostfetzen, nach WITT die Einklemmung der Sehne des M. tibialis anterior Hauptursache für eine derartige Störung.

Nach L. BÖHLER besteht eine Weichteileinklemmung nur bei Verkürzung mit beachtlicher Seitenverschiebung. Bei der Reposition schlüpft nach BÖHLER, KÜNTSCHER und MEIER-STAUFFER die interponierte Muskulatur fast immer zurück. Nach LUNG MUSS wird eine Gewebswischenlagerung oft überbewertet, da das Gewebe zerrieben wird und als Zerfallsmasse in das Hämatom übergeht; eine Ausnahme bildet nach LUNG MUSS nur die Interposition von größeren Weichteilen, die zur Abdeckelung des Markraumes führen können. BRANDT vermutet, daß eine Weichteilinterposition als Ursache einer Pseudarthrose vielfach überschätzt wurde, weil das im Frakturspalt vorgefundene Bindegewebe als Folge einer Interposition oder als neugebildetes Narbengewebe angesehen werden kann. Nach BLOCK kann zwischengelagertes Muskelgewebe die Wiederherstellung der ursprünglichen Knochenform jedoch entscheidend verhindern.

Die Durchsicht der medizinischen Literatur hat ergeben, daß außer GANZONI kein weiterer Autor bei geschlossenen Unterschenkeldrehbrüchen eine Bestimmung des Frakturhämatoms durch stereometrische Messung vorgenommen hat. GANZONI hat Hämatommengen zwischen 100 und 950 ml festgestellt, die 1,5 bis 25 % des Totalblutvolumens entsprechen.

Probleme des Unterschenkeldrehbruches für die Behandlung.

Zusammenfassend besteht beim Unterschenkeldrehbruch eine schraubenförmige, oft steilgestellte Bruchebene mit langen, spitzen Fragmenten; die Bruchlinie verläuft fast ausnahmslos im Sinne der Außendrehung, ist gelegentlich mit Ausbruch eines Drehkeils verbunden und liegt überwiegend am Übergang vom mittleren zum unteren Drittel oder im unteren Drittel des Unterschenkels.

Der Frakturort entspricht der engsten Stelle des Tibiamarkraumes, die mit dem Übergang der S-Krümmung und dem Wechsel der Querschnittsform zusammenfällt. Die Tibiavor-

derkante ist muskelfrei, da die Muskulatur vorwiegend dorsal tibial und fibular angeordnet ist.

Die Fibula bricht entweder nicht oder meistens in Fortsetzung der Drehrichtung im oberen Drittel; die erhaltene Fibula kann als Sperrknochen wirken (L. BÖHLER, BÖTTGER, BRANDT, HÄBLER, LUNG MUSS, LEIMBACH).

Die Problematik des Unterschenkel Drehbruches ergibt sich deshalb aus Bruchform und Bruchort, aus dem Verhalten des Wadenbeines und aus der besonderen Anordnung der Unterschenkelmuskulatur. Wie in der Literatur berichtet wird, kommt es offensichtlich auf Grund dieser Verhältnisse bei der Behandlung des Drehbruches zu Fehlergebnissen. BLOCK, PETROKOV, STUCKE u. STOLLMANN, VITALLI und andere Autoren fordern deshalb, beim Unterschenkel Drehbruch ein Behandlungsverfahren zu wählen, dessen Vorzüge Störungen am Bruchspalt und Fehlstellungen möglichst weitgehend ausschalten.

Fehlstellungen an verheilten Unterschenkel Drehbrüchen.

J. BÖHLER, L. BÖHLER, BÖTTGER, BRANDT, DEBRUNNER, DE PALMA, EHALT, GSCHWEND, HACKETHAL, LENTZ, MAATZ, MARTY; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER; MUMENTHALER, NONNEMANN, J. REHN, SCHWARZ, TILMANN, USADEL und WEBER berichten in neueren Arbeiten ausführlich über Achsenfehler an verheilten Unterschenkel Drehbrüchen, die besonders nach konservativer Behandlung aufgetreten sind (DEBRUNNER).

Nach Unterschenkel Drehbrüchen wurden Drehfehler offensichtlich am häufigsten beobachtet (BÖTTGER, BRANDT, DEBRUNNER, DE PALMA, GSCHWEND, MAATZ, MARTY; MAURER u. LECHNER; MUMENTHALER, SCHWARZ; SEGMÜLLER, CORRODI u. KESSLER, USADEL). Nach NONNEMANN tritt ein Drehfehler zwar nur in 3 % aller Fälle auf; MAATZ hat Drehfehler am Unterschenkel nur zweimal festgestellt. Allerdings berichtet MUMENTHALER über 28 Fälle von posttraumatischen Drehfehlstellungen am Unterschenkel; nach MARTY bestanden bei etwa 10 % von konservativ behandelten und bei 20 % von markgenagelten Unterschenkelbrüchen Rotations- und Achsenfehler mit Verkürzung. Nach DEBRUNNER ergeben sich in 72,7 % Innendrehfehlstel-

lungen. Auch nach den weitgehend übereinstimmenden Angaben in der Literatur werden am Unterschenkel überwiegend Fehlstellungen des distalen Fragmentes mit Verdrehung nach innen festgestellt; diese Drehfehler sind nach der Literatur häufig. Allerdings werden von den meisten Autoren genaue Zahlen nicht vorgelegt.

Von BÖTTGER, DEBRUNNER, HACKETHAL, LENTZ, MUMENTHALER, TILMANN und WEBER wurde außerdem über Varus-, Valgus- und Rekurvationsfehlstellungen bei verheilten Unterschenkeldrehbrüchen berichtet. GELBKE und RUSH beobachteten am Unterschenkel vor allem Antekurvationsfehlstellungen.

Nach BRANDT, DEBRUNNER und WEBER verursachen Rotationsfehler am Unterschenkel gleiche Störungen wie eine Varusstellung mit kompliziertem Kompensationsmechanismus; nach DEBRUNNER und MUMENTHALER verursacht eine Varusstellung von bereits 5° eine erhebliche Störung. EHALT; SEGMÜLLER, CORRODI u. KESSLER sind allerdings der Ansicht, daß eine Varusstellung um oder bis 5° noch toleriert werden kann.

Nach Auffassung von MUMENTHALER und WEBER wird eine leichte Antekurvations-, eine leichte Valgus- oder vermehrte Außen-drehstellung von 10° besser vertragen als eine gleich grose Varus-, eine Innendrehungs- oder eine Rekurvationsstellung; nach WEBER wirken schon geringe derartige Achsenfehler sehr ungünstig, weil sie beim Erwachsenen definitiv sind. Nach HACKETHAL verursacht bereits eine Seitenverschiebung um halbe Schaftbreite eine Abweichung der zentralen Belastungsachse um mehrere Grad. Nach BÖTTGER und MUMENTHALER antworten die benachbarten Gelenke auf eine schon geringe Achsenfehlstellung auf Grund langjähriger Fehlbelastung mit schweren Arthrosen.

BÖTTGER; GRUNDMANN u. LINKS; SEGMÜLLER, CORRODI und KESSLER fordern deshalb, daß besonders am Unterschenkeldrehbruch wegen der späteren statischen Fehlbelastung eine möglichst gute Stellung erreicht werden muß.

Nach L. BÖHLER, DEBRUNNER, BRANDT, GSCHWEND; MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER; MUMENTHALER, SCHWARZ und WEBER verursachen posttraumatische Fehlstellungen am verheilten Unterschenkeldrehbruch folgende Störungen (Tab. 7):

Tab. 7: Posttraumatische Fehlstellungen am Unterschenkel und ihre Auswirkungen.

Art der Fehlstellung	Auswirkung oberhalb der Fraktur	Auswirkung unterhalb der Fraktur
Einwärtsdrehung des unteren Fragmentes über 10 Grad	Kompensatorische Verdrehung im Hüft- und Kniegelenk nach außen	Verdrehung des Fußes nach innen, schiefe Belastung des oberen Sprunggelenkes, die durch das Sustentaculum tali auf höchstens 5 Grad begrenzt ist; Überlastung des äußeren Fußrandes, kompensatorischer kontrakter Knickfuß mit supinatorischer Aufbiegung des Vorfußes
Auswärtsdrehung des unteren Fragmentes	Kompensatorische Verdrehung im Hüft- und Kniegelenk nach innen	Abweichung der Fußachse nach außen; Überlastung der medialen Fußwölbung, Knickplattfuß
Varusstellung über 5 Grad	O-Bein	Varusstellung des oberen Sprunggelenkes ; kontrakter Knickfuß
Valgusstellung	X-Bein	Valgusstellung des oberen Sprunggelenkes
Antekurvatur und Rekurvatur	Genu flexum und Genu recurvatum	Störungen am oberen Sprunggelenk

B. Konservative Behandlung des Unterschenkelstabilitätsbruchs.

Allgemeine Gesichtspunkte für die konservative Behandlung.

Nach BLOCK, L. BÖHLER und BRUCK u. MOSER ist es Aufgabe der Frakturbehandlung, den zerstörten Knochen bis zur Konsolidation zu stützen, um möglichst schnell bei wiederhergestellter anatomischer Knochenform eine möglichst normale Funktion zu erhalten (BLOCK). Nach BRANDT ist nicht die Fragmentstellung im Bruchspalt, sondern die Achsenstellung der benachbarten Gelenke für den Erfolg entscheidend.

L. BÖHLER hat drei Grundsätze der Frakturenbehandlung aufgestellt, die auszugsweise wiedergegeben werden sollen:

Bei jedem Knochenbruch müssen die verschobenen Bruchenden gut eingerichtet werden,
die eingerichteten Bruchstücke müssen so lange ununterbrochen in guter Stellung festgehalten werden, bis sie knöchern miteinander verheilt sind,
während der notwendigen Ruhigstellung müssen möglichst viele Gelenke der verletzten Extremität in vollem Umfang bewegt werden.

Außerdem muß nach L. BÖHLER eine entsprechende Verkürzung erzeugt werden, damit die Bruchenden nach der Resorption zusammenrücken können.

Die von L. BÖHLER aufgestellten Behandlungsgrundsätze haben allgemein Zustimmung gefunden.

Nach GEISER ergeben sich bei der Frakturenbehandlung drei Probleme:

Die osteogenetische Regenerationspotenz des Knochens, welche nicht beeinflußt werden kann;
die Durchblutung kann verbessert werden; sie spielt allerdings in der unteren Hälfte des Unterschenkels wahrscheinlich eine geringere Rolle als am Oberschenkel, weil der vaskularisierte Muskelmantel fehlt;
außerdem Ruhe am Frakturspalt, Vermeidung der Devitalisierung des Knochens durch Periostablösung bei Reposition und Operation, Beachtung der Interposition.

Nach GEISER ist Stabilität bei jeder Fraktur günstig, aber

nicht bei jeder Fraktur unbedingt notwendig; bei der Schaftfraktur ist genaue Adaption und Kompression belanglos, Verkürzung günstig, Distraction ungünstig und eine Operation verzögernd. Nach MEIER-STAUFFER ist eine vollkommene Adaption mit Ausnahme gelenknaher Frakturen ebenfalls nicht erforderlich, bei der Frakturenbehandlung soll eine achsengerechte Stellung und eine Verkürzung um mehrere Millimeter im Vordergrund stehen.

Nach VITALLI muß die Frakturenbehandlung eine für die Osteoplasie günstige Reizkonstellation mit absoluter Immobilisierung, optimaler Vaskularisierung und Adaption sowie axialer rhythmischer Belastung schaffen. Die Bruchbehandlung muß so früh wie möglich einsetzen, um geweblichen Fehlregulationen zuvorzukommen; außerdem ist eine fugenlose Reposition anzustreben (VITALLI).

Allerdings ist nach L. BÖHLER bei einer Seitenverschiebung der Fragmente bis zur halben Schaftbreite eine Heilungsstörung nicht zu erwarten. Nach den Erfahrungen von FRANK und KISSLER neigen aber geschlossene Unterschenkelbrüche mit einer Seitenverschiebung von mehr als $1/2$ und offene Frakturen mit mehr als $1/4$ Schaftbreite zur verzögerten Konsolidation. Nach MATZEN ist eine Frakturheilung bei Seitenverschiebung der Fragmente ebenfalls erschwert. EHALT gestattet nur dann eine seitliche Verschiebung, wenn ein guter Kontakt der Bruchflächen trotzdem besteht.

Nach LUNG MUSS und J. REHN haben Brüche unterhalb der Unterschenkelmitte mit zunehmender Nähe zum oberen Sprunggelenk eine schlechtere Heilungstendenz, nach den Beobachtungen von LUNG MUSS besonders der kurze Spiralbruch. GRUNDMANN u. LINKS fordern auch aus diesem Grunde vor allem bei Unterschenkelrehbrüchen wegen der späteren statischen Fehlbelastung eine möglichst einwandfreie Stellung.

Nach BAYNE, MORRIS u. WICKSTROM; L. BÖHLER, BÖTTGER, CHARNLEY, DE PALMA, EHALT, EHRLICH, GEISER, HÜBNER, JANTZEN, JONASCH, KEIL, KUSS, LEIMBACH; LOTTES, HILL u. KEY; MEIER-STAUFFER, MÖRL, NICOLL, J. REHN, SCHWARZ; SCAGLIETTI u. STRINGA, STRINGA und VIERNSTEIN u. TÄGER ist die Behand-

lung des Unterschenkeldrehbruches beim Erwachsenen im Allgemeinen konservativ durchzuführen. L. BÖHLER und VIERNSTEIN u. TÄGER heben hervor, daß die konservative Behandlung für alle Bruchformen des Unterschenkels ausreicht.

BAYNE, MORRIS u. WICKSTROM; BÖTTGER, EHRLICH, HELLNER, HÜBNER, JONASCH, KUSS; LOTTES, HILL u. KEY, LEIMBACH, NICOLL, J. REHN und auch L. BÖHLER (1963) schränken die Indikation zur konservativen Behandlung allerdings auf Fälle ein, bei denen eine annähernd exakte Stellung des Unterschenkeldrehbruches zu erreichen ist. Beim langen und unstillbaren Drehbruch, bei gelenknahen Frakturen und verzögerter Heilung ist nach Ansicht dieser Autoren unter Vorbehalt eine operative Behandlung gestattet.

Nach EHALT, HAUCK und L. BÖHLER erfolgt die Konsolidation bei der unblutigen Behandlung des Unterschenkeldrehbruches durch periostalen und endostalen Kallus. Eine parostale Kallusbildung tritt nur dann ein, wenn das Periost zerissen oder abgehoben ist und wenn nach HAUCK nur eine schmale und lockere Berührung der Fragmente vorliegt. Bei guter periostaler kann gelegentlich die endostale Kallusbildung ausbleiben, besonders bei mangelndem Bruchstückkontakt (EHALT). Nach den Erfahrungen besonders von BLOCK, BÖTTGER, EHALT, FALK, FEHR, LUNG MUSS und E. REHN ist die periostale Kallusbildung an der Tibiavorderkante meist verzögert und bleibt gelegentlich ganz aus. Nach L. BÖHLER geht jedoch in jedem Falle die bei der konservativen Behandlung eintretende Festigung des Knochens bei entsprechender Verkürzung viel schneller vor sich als die primäre Heilung.

JANTZEN ist der Auffassung, daß die Forderung L. BÖHLERS nach Frakturbehandlung mit Verkürzung nicht für den Unterschenkeldrehbruch gilt, sondern nur für den Quer- oder kurzen Schrägbruch. Nach JANTZEN verläuft der Bruchspalt beim Drehbruch in einem sehr spitzen Winkel zur Tibialängsachse, sodaß die Verkürzung bei konservativer Behandlung des Drehbruches überflüssig ist, weil die Resorption der Bruchenden eher eine Verschmächtingung des Knochens verursachen würde.

Reposition des Unterschenkel-drehbruches.

Nach FEHR; GRUNDMANN u. LINKS; JANIK, LUNG MUSS; MAURER u. LECHNER; E. REHN, J. REHN und SCHWARZ soll der dislozierte Unterschenkel-drehbruch sofort reponiert werden. Die Reposition soll exakt und endgültig sein, weitere Repositionsmanöver sind zu vermeiden (BÜRKLE DE LA CAMP, HAUCK, JANIK, LUNG MUSS, E. REHN, SCHWARZ). Bei der Reposition muß nach HAUCK vor allem die rotatorische Dislokation beseitigt werden, sodaß die schraubenförmigen Bruchstücke nach völliger Aufdrehung in breiter Berührung miteinander stehen.

Nach DE PALMA kann der Drehbruch nicht ohne Dauerextension reponiert werden; nach JANTZEN wird durch die Dauerextension erst allmählich eine ideale Stellung des Unterschenkel-drehbruches erreicht. SCAGLIETTI u. STRINGA und STRINGA bevorzugten bei 83 bis 88 % aller Unterschenkel-drehbrüche eine Reposition durch Dauerzug.

BÜRKLE DE LA CAMP und FEHR lehnen aber die Reposition des dislozierten Unterschenkel-drehbruches durch Dauerextension ab. Nach HELLNER und JANIK gelingt die Reposition verhältnismäßig leicht bei Semiflexionsstellung der Gelenke, nach GELBKE, HOFFMANN und RUSH bei gebeugtem Kniegelenk.

Nach BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR, JANIK und E. REHN ist die Reposition des Unterschenkel-drehbruches möglichst während des Muskelstupors vorzunehmen, weil zu diesem Zeitpunkt Schädigungen der beteiligten Muskulatur noch nicht zu erwarten sind und die Muskulatur infolge des Stupors nur einen relativ geringen Widerstand leistet. Nach JANIK kann bereits einige Stunden nach der Fraktur ein gesteigerter Muskeltonus eintreten; er schlägt deshalb vor, zur Reposition die Muskelspannung durch tiefe Narkose mit Muskelrelaxantien auszuschalten.

Nach Ablauf der Stuporphase tritt zusätzlich ein intermittierender Tetanus mit erhöhter Muskeltätigkeit ein (E. REHN), sodaß nach L. BÖHLER und JANIK im Widerstand der kontrahierten Muskulatur ein erhebliches Hindernis

für die exakte Reposition des Unterschenkelrehbruchs vorliegt. Nach einigen Tagen bereits kann die Muskulatur nicht mehr auf ihre normale Null-Länge gebracht werden, sofern eine Verkürzung der Fraktur verblieben ist; beim späteren Repositionsversuch erfolgen Überdehnungen und Schädigungen der Muskulatur mit Fibrillennekrose, die durch eine bindegewebige Narbe mit funktioneller Minderwertigkeit ausheilen muß (L. BÖHLER, BÜRKLE DE LA CAMP; BRUCK u. MOSER, FEHR, E. REHN).

Ein weiteres Repositionshindernis beim Unterschenkelrehbruch sind nach HAUCK, JANIK und STUCKE u. STOLLMANN die langen spitzen Fragmentzacken, die häufig bei der post-traumatischen Dislokation tief in die Weichteile eingespießt sind und wie eine große Weichteilinterposition wirken. Die untere, nach oben gerichtete Fragmentspitze sticht nach HAUCK oft tief in die Weichteile ein und steht deshalb nach fibular ab.

Nach FEHR und HAUCK können bei der Reposition des Unterschenkelrehbruchs Achsenknickungen und Verkürzung gut korrigiert werden. Seitliche Verschiebung, Abweichung des distalen Fragmentes nach außen und Dislocatio ad peripheriam können nach den genannten Autoren oft nur unvollständig behoben und auch durch verstärkten Zug im Streckverband nicht ausgeglichen werden. Nach HAUCK lassen sich nur kurze Drehbrüche mit kleinen Fragmentspitzen bei fehlender Interposition gut einrichten.

Fixation des reponierten Unterschenkelrehbruchs.

Nach dem zweiten Grundsatz von L. BÖHLER müssen die eingerichteten Bruchstücke so lange ununterbrochen in guter Stellung festgehalten werden, bis eine knöcherne Heilung eingetreten ist.

Von L. BÖHLER, BÜRKLE DE LA CAMP, EHALT; GRUNDMANN u. LINKS, LUNGMUSS, E. REHN und SCHWARZ, die eine unblutige Behandlung des Unterschenkelrehbruchs befürworten, wird nach der Reposition eine absolute Ruhigstellung verlangt, damit möglichst günstige mechanische Voraussetzungen für

die Konsolidation vorliegen. Während der Fixationsperiode sollen nach Auffassung von EGGELING, PANZNER u. HÜBNER; FALK, MÖRL, PETROKOV und ROUX Druckkräfte auf den Bruchspalt einwirken können; nach BLOCK und PETROKOV sind übermäßige Zugkräfte zu vermeiden. Nach BLOCK, BÜRKLE DE LA CAMP, MÖRL und ROSENFELD begünstigen wechselnde Druck- und Zugkräfte die Frakturheilung. Scher-, Schub- und Rotationsbewegungen sind während der Fixationsperiode des Unterschenkelrehbruchs zu vermeiden (BLOCK, BRANDT, OSTAPOWICZ, PETROKOV, SCHWARZ, WRAY).

Fixation des Unterschenkelrehbruchs im Gipsverband.

Von ELLIS, HELLNER, KUSS, LUNG MUSS; MAURER u. LECHNER; MÖRL und J. REHN wird bei nicht dislozierten Drehbrüchen und bei reponierten Unterschenkelrehbrüchen, die in guter Stellung festgehalten werden können, eine reine Gipsbehandlung vorgeschlagen. Nach HELLNER und MÖRL soll dabei das Kniegelenk in leichter Beugung, das Sprunggelenk in rechtwinkliger Stellung im Gipsverband ruhiggestellt werden. BÖTTGER empfiehlt Gipsfixation in leichter Spitzfußstellung, um eine Rekurvatur zu vermeiden. Nach TILMANN wird durch Einstellen des Fußes in Dorsalflexion die Gefahr einer Rekurvatur ausgeschlossen, da der gespannte M. gastrocnemius im Sinne der Antekurvatur wirkt, der entspannte Muskel aber dem Durchsinken des Unterschenkels in Rekurvatur Vorschub leistet.

Von ELLIS wurden 64,7 %, von KUSS 71,9 % aller Unterschenkelrehbrüche ausschließlich im Gipsverband behandelt.

BLOCK, L. BÖHLER, BÜRKLE DE LA CAMP; BRUCK u. MOSER, HÜBNER, MÖRL, LUNG MUSS, PETROKOV, ROHLEDERER, SCHWARZ und USADEL lehnen nach der Reposition die weitere Behandlung des Unterschenkelrehbruchs mit Gipsverbänden grundsätzlich ab.

Nach BRUCK u. MOSER; LUNG MUSS, MÖRL und USADEL entsteht bei der reinen Gipsversorgung des Unterschenkelrehbruchs bald eine Verkürzung, welche durch die schräge Bruchebene, durch Muskelzug und auch durch vorzeitige Be-

lastung verursacht wird. HÜBNER und ROHLEDERER sind der Ansicht, daß auch bei anfangs guter Stellung eine Stellungsänderung im Sinne der Längs- und Seitenverschiebung zu erwarten ist. Außerdem kann nach ROHLEDERER der Gipsverband beim Unterschenkeldrehbruch kalluszerstörende Kräfte nicht ausschalten. Trotz des Gipsverbandes wirken nach BLOCK und BÜCKLE DE LA CAMP schädliche Scher- und Biegekräfte ein; nach PETROKOV kann der Gipsverband Rotationsbewegungen nicht mit genügender Sicherheit verhindern.

Ruhigstellung des Unterschenkeldrehbruches in der Dauerextension.

Nach L. BÖHLER, EHALT, HÜBNER, JANTZEN, JONASCH, MEIER-STAUFFER, SCAGLIETTI u. STRINGA und STRINGA ist die konservative Behandlung des reponierten Unterschenkeldrehbruches durch den Streckverband mit Fersenbeinnagel oder Fersendraht einzuleiten und nach Ablauf einiger Wochen mit Gipsverbänden fortzusetzen.

Auch von BÖTTGER, HELLNER, KEIL, KÖNIG; KOCH u. KEMPTER; LOTTES, HILL u. KEY; MAURER u. LECHNER; NICOLL, SCHWARZ und WATSON-JONES wird eine Dauerextensionsbehandlung oder eine kombinierte Liegegips-Extensionsbehandlung zumindest dann bevorzugt, wenn der Drehbruch im Gipsverband allein nicht in reponierter Stellung gehalten werden kann.

Die anfängliche Extensions- und spätere Gipsbehandlung des Unterschenkeldrehbruches wird nach den Angaben in der Literatur nicht einheitlich durchgeführt (Tab. 8).

Nach L. BÖHLER, EHALT, ELLIS, FREY, HAUCK, JACKSON, MÖRL, E. REHN, RINIKER, ROHLEDERER, VITALLI und WITT muß die Extensionsbehandlung des Unterschenkeldrehbruches mit besonderer Sorgfalt durchgeführt werden. Es besteht vor allem die Gefahr der Distraction und der mechanischen Unruhe, die auf jeden Fall zu vermeiden sind. Nach VITALLI kann bei der Distraction des Frakturspaltes Bindegewebe einwachsen, welches die Osteogenese erheblich blockiert.

Nach BRUCK u. MOSER, FEHR, HÄBLER und SCHUMPELICK u. JANT-

ZEN ergibt zwar das bei der Extensionsbehandlung notwendige Gewicht ein Muskelgleichgewicht, kann aber auch die notwendige Einstauchung der Frakturrenden durch Druckkräfte verhindern (HÄBLER). Außerdem wird nach FEHR der extendierte Muskel bei mehrwöchiger Streckbehandlung erheblich geschädigt.

Nach BÖTTGER und BRUCK u. MOSER können im Streckverband Seitenverschiebungen nicht gut ausgeglichen werden. Nach BÖTTGER ist wegen der Abgleitgefahr im Gipsverband für den kurzen Dreh- und Schrägbruch nur eine kombinierte Extensions-Gipsbehandlung vorzunehmen. Nach WITT müssen vor allem Torsionsbewegungen verhindert werden.

LEONHARDT vermutet, daß durch die Extensionsbehandlung des Unterschenkeldrehbruches eine Minderdurchblutung ausgelöst wird, die zu einer verzögerten Knochenbruchheilung führt. Nach BAUMGARTL, GREMMEL u. WILLMANN setzt die Extensionsbehandlung nach dem Ergebnis angiografischer Untersuchungen die Durchblutung der betroffenen Extremität nicht herab.

Tab. 8: Behandlungsdauer mit Extension und Gipsverband.

	Extension	Gipsverband
L. BÖHLER; HÜBNER; EHALT	1 - 3 kg für 3 - 4 Wochen	danach Oberschenkelgipsverband f. 5 - 7 Wochen
JANTZEN	2 - 3 kg für 3 Wochen	danach ungepolsteter Gips f. 3 Wo., n. 6 Wo. Gehgips
JONASCH	1 - 3 kg für 3 Wochen	danach Oberschenkelgeh-gips f. 8 - 12 Wochen
MEIER-STAUFFER	1 - 3 kg für knapp 4 Wo.	danach Gehgipsverband für 8 Wochen
SCAGLIETTI u. STRINGA; STRINGA	Extension f. 6 - 10 Tage	nach 6 - 10 Tagen Liegegips, nach 45 - 60 Tagen Gehgipsverband

Literaturmitteilungen über nachträgliche Fehlstellungen am reponierten Drehbruch bei konservativer Behandlung.

In der Literatur werden Erfahrungen über eine während der Fixationsperiode nachträglich eingetretene Fehlstellung

des reponierten und konservativ weiterbehandelten Unterschenkelrehbruchs mitgeteilt (L. BÖHLER, BÖTTGER, BRANDT; BRUCK u. MOSER; BÜRKLE DE LA CAMP, DEBRUNNER; EG-
GELING, PANZNER u. HÜBNER; FRANK u. KISSLER; GSCHWEND,
HELLNER, ILLES, JACKSON, JANIK, JONASCH; KOCH u. KEMPTER;
LEIMBACH, LENTZ, LUNG MUSS, MAATZ, MARTY, MATZEN, MUMEN-
THALER, NONNEMANN, E. REHN, ROHLEDERER, ROSENFELD,
SCHAUTZ, SCHWARZ; STUCKE u. STOLLMANN; TILMANN, USADEL,
WATSON-JONES, WEBER).

Offensichtlich ist es nicht einfach, bei der konservati-
ven Behandlung des Unterschenkelrehbruchs den zweiten
Grundsatz L. BÖHLERS zu befolgen, weil nach der Reposi-
tion während der Fixation im Streck- oder Gipsverband un-
günstige Kräfte auf den Drehbruch einwirken können. Diese
Kräfte sind nach PAUWELS umso größer, je steiler die
Bruchebene ist, beeinträchtigen die erreichte gute Stel-
lung und verursachen am Bruchspalt Bieungsinsulte, die
zur Zerreißung der neugebildeten Kapillarsprossen und zu-
mindest zu einer Heilungsverzögerung führen (EGGELING,
PANZNER u. HÜBNER; LUNG MUSS; USADEL). MATZEN ist der Auf-
fassung, daß eine bereits geringe Verdrehung beim Dreh-
bruch erhebliche Heilungsstörungen auslöst, weil die
Bruchflächen den Kontakt verlieren und nur die Kanten der
beiden Fragmente miteinander in Berührung stehen.

Die folgende Aufstellung gibt eine Übersicht über die von
den einzelnen Autoren während der Fixationsperiode des
Drehbruchs vorwiegend beobachteten Fehlstellungen:

Tab. 9: Vorwiegend beobachtete Fehlstellungen.

Torsions- fehlstellung	BÖTTGER, BRANDT, GSCHWEND, HELLNER, JANIK, LENTZ, MAATZ, MATZEN, MUMEN- THALER, NONNEMANN, SCHWARZ; STUCKE u. STOLLMANN; WEBER
Verschiebung, Verkürzung, Abgleiten	BRUCK u. MOSER; BÜRKLE DE LA CAMP; EGGELING, PANZNER u. HÜBNER; HELLNER, JACKSON, JANIK, E. REHN, ROHLEDERER; STUCKE u. STOLLMANN; USADEL
Rekurvatur, Varusdeformität	BRANDT, JANIK, LENTZ, MUMENTHALER, USADEL

Ursachen der nachträglichen Dislokation des Unterschenkel-
drehbruches nach Literaturangaben.

Von den meisten Autoren wird das Verhalten des Wadenbeines als Hauptursache für die nachträgliche Dislokation des Unterschenkel-drehbruches aufgefaßt (L. BÖHLER, BÖTTGER, BRANDT, FREY, HÄBLER, HELLNER, JACKSON, JONASCH, LEIMBACH, LUNG MUSS, ROSENFELD, WATSON-JONES).

Nach ROSENFELD ist die Fibula gegenüber Biegungsgewalten widerstandsfähiger als die Tibia. Die Fibula ist proximal durch ein sehr straffes Gelenk und distal durch eine kräftige Syndesmose mit der Tibia verbunden. Beim Unterschenkel-drehbruch bricht die Fibula nicht oder sie ist während der Behandlung bereits verheilt, wenn an der Tibia die Umbauvorgänge noch ausgeprägt sind (HÄBLER). In dieser Situation wirkt das Wadenbein als Sperrknochen. Der Sperrmechanismus läßt das proximale Tibiafragment abgleiten, verhindert so den Kontakt der Tibiabru chflächen und behindert die bei der Frakturheilung nützlichen Druckkräfte, die in Scherkräfte umgewandelt werden. Außerdem wird die Rotationstendenz des distalen Tibiabru chstückes durch die Sperrwirkung der Fibula zumindest unterstützt (HELLNER, LUNG MUSS, ROSENFELD).

Nach LEIMBACH ist eine Sperrwirkung der Fibula bei subkapitaler Fraktur mit Dislokation der Fibula um volle Schaftbreite ausgeschlossen; bei ununterbrochener Ruhigstellung kann der Tibiabru ch nach LEIMBACH auch bei einer gewissen Sperrwirkung ausheilen.

Von L. BÖHLER, FREY, HELLNER, JONASCH, M. LANGE und ROSENFELD wird eine frühzeitige Fibularesektion vorgeschlagen, damit die Sperrwirkung mit Sicherheit vermieden wird.

Eine weitere Ursache für eine nachträgliche Dislokation des reponierten Unterschenkel-drehbruches ist die schraubenförmig und steilgestellte Bruchebene und Muskelzug (BRANDT; BRUCK u. MOSER, BÜRKLE DE LA CAMP, JANIK, LENTZ, MAATZ, NONNEMANN, SCHAUTZ, TILMANN).

Von anderen Autoren wird Muskelschwund, Weichteilabschwellung und Hämatomresorption (EGGELING, PANZNER u.

HÜBNER, LENTZ, TILMANN, USADEL), die geringere Weichteildeckung der Tibiavorderkante (BÖTTGER, LUNG MUSS, E. REHN) oder eine Störung des Muskelgleichgewichts als Verletzungsfolge (MAATZ) als Ursache für eine nachträgliche Fehlstellung angenommen.

Nach BÜRKLE DE LA CAMP; EGGELING, PANZNER u. HÜBNER; LENTZ, MAATZ und NONNEMANN ist auch die frühzeitige Belastung im Gipsverband ein Grund für die beobachteten nachträglichen Fehlstellungen; nach BÜRKLE DE LA CAMP und TILMANN begünstigen im Gipsverband Belastungsdruck und Entlastungszug scherende Bewegungen.

Nach GSCHWEND und WEBER ist die übliche Lagerung auf der Extensionsschiene für die rotatorische Abweichung des distalen Unterschenkelfragmentes verantwortlich, weil das proximale Fragment auf der Schiene dazu neigt, sich gegen den festgebundenen Fuß nach außen zu verdrehen. Aus diesem Grund muß der Fuß nach GSCHWEND und WEBER bei der konservativen Behandlung des Drehbruchs entsprechend der normalen Außendrehung des Unterschenkels in Außenrotation und nicht senkrecht eingestellt werden.

Resultate der konservativen Behandlung des Unterschenkeldrehbruchs nach Literaturangaben.

Das Ergebnis der konservativen Behandlung des Unterschenkeldrehbruchs wird in der Literatur nach unterschiedlichen Gesichtspunkten dargestellt. In den folgenden Tabellen soll trotzdem ein Überblick über das Behandlungsergebnis gegeben werden, und zwar unter dem Gesichtspunkt der Dauer der Konsolidation, der Krankenhausbehandlung, der Gesamtbehandlung und der Arbeitsunfähigkeit sowie der eingetretenen Komplikationen und des funktionellen Ergebnisses (Tab. 10 - 13).

Die Definition des funktionellen Ergebnisses wurde von SCAGLIETTI u. STRINGA übernommen (gut: Achsknickung von höchstens 5° , Verkürzung unter 7 mm, keine Verschiebung; befriedigend: Achsknickung $6 - 10^{\circ}$, Verkürzung 8 - 15 mm; schlecht: Achsknickung über 11° und Verkürzung über 16 mm).

Tab. 10: Dauer der Konsolidation und der stationären
Behandlung.

	Offene Frakt.	Geschl.Frakt.	Stat.Behandlung
BERCHTHOLD		16 Wo.	9,5 Wo.
EHALT		12 -16 Wo.	
ELLIS		10 -23 Wo.	
ENDER, KROT- SCHEK, JAHNA		70 -75 Tg.	31,8 Tg.
FREY		8,8 -11,9 Wo.	
KÖNIG		62,5 Tg.	
KUSS	21,8-23,3 Wo.	8 -12 Wo.	
LEIMBACH		6 - 8 Wo.	
MEIER- STAUFFER		13,8 Wo.	
P. MÜLLER			58,0 Tg.
NICOLL		15,9 Wo.	
SCAGLIETTI- STRINGA	107 Tg.	91,0 Tg.	
STRINGA	131 Tg.	105,0 Tg.	
USADEL		12,0 Wo.	19,0 Wo.

Tab. 11: Dauer der Behandlung und Arbeitsunfähigkeit.

	Behandlungsdauer	Arbeitsunfähigkeit
BERCHTHOLD		5,75 Mon.
ENDER, KROT- SCHEK, JAHNA	144,5 Tg.	123 - 156 Tg.
HUBER		13,5-34,5 Wo.
JONASCH		123 - 156 Tg.
MEIER- STAUFFER	158,2 Tg.	158,2 Tg.
P. MÜLLER	158,0 Tg.	133,0 Tg.
SCAGLIETTI- STRINGA	144 - 200 Tg.	155 - 220 Tg.
SPOHN		29,0 Wo.
STRINGA	142 - 196 Tg.	
USADEL		22,1 Wo.

Tab. 12: Komplikationen bei konservativer Behandlung
des Unterschenkelrehbraches.

	Verzögerte Heilung	Pseud- Arthrose	Osteo- myelitis	Sudeck
BERCHTHOLD	5 %	1 %	0 %	9 %
BLOCK		27,4-32,1%		
L. BÖHLER	0 %	0,19 %		
ELLIS	14,8 %			
LUNGMUSS	10 %			
P. MÜLLER	0 %			20 %
NICOLL		5 %		
SCAGLIETTI u. STRINGA	4,24 - 22,6 %	0,22-9 %	18,1 %	(off.Fr.)
STRINGA	12,0 %	1,6 %	0,6 %	

Tab. 13: Funktionelles Ergebnis nach konservativer Be-
handlung des Unterschenkelrehbraches.

	gut	befriedigt	schlecht	Renten
BERCHTHOLD			23 %	
HUBER	45,5-70 %			
KÖNIG		13,0 %		
MARTY			ca.10 %	
MEIER- STAUFFER	79 %	vereinzelt		
P. MÜLLER			5-25 %	25 %
SCAGLIETTI u. STRINGA	60-83,4 %	13,4-25%	3,2-15%	
STRINGA	74 %	20,0 %	6 %	

C. Operative Behandlung des Unterschenkelrehbraches.

1. Allgemeine Gesichtspunkte für die Osteosynthese.

Forderung an die Osteosynthese.

Die Forderungen L. BÖHLERS zur konservativen Frakturenbehandlung gelten im Wesentlichen auch für die operative Behandlung des Knochenbraches (L. BÖHLER, HÄBLER).

Nach ALLGÖWER, BERENTY, BÖTTGER, DANIS, FORSSMANN, HEUSER, GENEWEIN; MAURATH, CHRIST u. KÖBLER; M.E. MÜLLER; MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER; NIETLISPACH, KÜNTSCHER, TRUETA, WEBER und WIESER u. ALLGÖWER ist bei der operativen Frakturenbehandlung eine stabile Osteosynthese anzustreben.

Während eine Adaptionsosteosynthese nur eine Fixation der reponierten Knochenteile ermöglicht (M.E. MÜLLER, DE MONTMOLLIN), muß die stabile Osteosynthese eine feste und dauernde Vereinigung der Fragmente in absolut exakter Stellung ergeben. Nach VITALLI scheint die Genauigkeit der Adaption das Ausmaß des die Osteogenese blockierenden Bindegewebes zu bestimmen; andererseits bestimmt nach VITALLI auch die Vaskularisierung die Osteogenese und steht in einem reziproken Verhältnis zur Mechanik. Außerdem muß die Funktion der verletzten Extremität wiederhergestellt werden, sodaß kurze Zeit nach dem Eingriff aktive Bewegungen durchgeführt werden können und Gelenkversteifungen und Durchblutungsstörungen ausbleiben. Für die Dauer der Heilung muß die Fraktur mechanisch neutralisiert werden, ohne daß am Frakturspalt Verschiebungen, Abknickungen oder Verdrehungen auftreten (GSCHWEND; MAURATH, CHRIST u. KÖBLER). Gleichzeitig muß ein ständiger Heilungsprozeß ablaufen, der möglichst im Sinne einer primären Heilung ohne wesentliche Reaktion von Periost und Endost direkt von den HAVERSschen Kanälen ausgeht (ALLGÖWER, BERENTY; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER; WIESER u. ALLGÖWER); die primäre Heilung einer Fraktur gilt als Beweis für eine einwandfrei stabile Osteosynthese.

Von den eingangs genannten Autoren wird im Allgemeinen zumindest eine übungsstabile Osteosynthese verlangt; MAURATH, CHRIST u. KÖBLER fordern möglichst eine Belastungsstabilität.

Die stabile Osteosynthese hat drei Bedingungen zu erfüllen:

Anatomische Reposition zur Wiederherstellung der früheren Gestalt des Knochens,
Schaffung eines mechanisch stabilen Blocks mit absoluter Ruhe am Frakturspalt; nach MAURATH, CHRIST u. KÖBLER müssen die Fragmente ohne Hilfe äußerer Kräfte so fixiert sein, daß Verschiebung, Verdrehung und Verbiegung durch Kräfte oder Belastung entfallen. Zumindest müssen die Fragmente nach Verschiebung, Verdrehung und Abknickung infolge kurzer Überlastung nach Beendigung der Überlastung in die Ausgangslage zurückkehren;

Nach FEHR, GENEWEIN; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLEN-EGGER und TRUETA müssen die Knochenfragmente ernährt bleiben.

Andere Autoren fordern außerdem von einer stabilen Osteosynthese Vermeidung der Brucheröffnung (KÜNTSCHER, TITZE), Schonung des Periostes (BÜRKLE DE LA CAMP, SCHWARZ), Osteosynthese im Innern des Knochens (KÜNTSCHER), Vermeidung von Knochen- und Weichteilnekrosen und Vermeidung der Infektion (BLOCK, L. BÖHLER, DANIS, HÄBLER, MEIER-STAUFFER, SCAGLIETTI u. STRINGA); Infektionsrate unter 1 - 2 % (ALLGÖWER).

Ablehnung der Osteosynthese.

BIER, BLOCK, L. BÖHLER, EHRLICH, GEISER, HÄBLER, HEUSER, JONASCH, KÖNIG, KUSS, M. LANGE, LEIMBACH, MEIER-STAUFFER, NICOLL; SCAGLIETTI u. STRINGA; SCHAUTZ und VIERNSTEIN u. TÄGER lehnen die operative Frakturenbehandlung grundsätzlich ab oder gestatten sie nur unter bestimmten Voraussetzungen.

Nach Auffassung von L. BÖHLER und M. LANGE wird die Indi-

kation zur Osteosynthese grundsätzlich zu weit gestellt; nach L. BÖHLER darf die Frage nicht lauten, wie eine Fraktur genagelt, sondern wie eine operative Behandlung der Fraktur möglichst vermieden werden kann.

BIER, L. BÖHLER, HEUSER, JONASCH, M. LANGE, MEIER-STAUFFER; SCAGLIETTI u. STRINGA und VIERNSTEIN u. TÄGER begründen ihre ablehnende Haltung gegenüber der operativen Frakturenbehandlung, durch die Operation werde eine Hemmung der Kallusbildung verursacht; der gewöhnliche Knochenbruch heilt nach M. LANGE auch ohne operative Maßnahmen von selbst. Nach FEHR ist zwar eine Störung des osteoiden und chondroiden Kallusaufbaus durch operative Behandlung denkbar, die Störungen können aber nach FEHR durch eine vorzeitige Belastung der Fraktur besonders begünstigt werden. Nach L. BÖHLER sind u.a. Weichteilschädigung, Abhebung und Verletzung des Periosts, fehlende Verkürzungsmöglichkeit, Abschnürung des Knochens und Entfernung von Hämatom, Mark und Gewebstrümmern für die beobachteten Fehlergebnisse nach operativer Behandlung verantwortlich.

EHRlich und KUSS bezeichnen methodische Unzulänglichkeiten der meisten Operationsverfahren als Hauptgrund für das Versagen. GEISER und HEUSER sind der Ansicht, daß die Schädigung von Periost und Mark für die schlechten Ergebnisse der Osteosynthese verantwortlich ist.

GEISER gibt für seine Auffassung folgende Begründung: Die Träger der primären Knochenregeneration sind Periost und Mark, die nach Schädigung zur Devitalisierung des Knochens führen; das Ausmaß der Devitalisierung ist oft proportional dem Grad der operativ erreichten Stabilität. Die Frakturheilung wird zwar durch den engen Kontakt der vitalen Fragmentabschnitte begünstigt. Nach GEISER und VIERNSTEIN u. TÄGER ist eine genaue Adaption nicht immer erforderlich, weil die Fragmentenden in einem geringen Abschnitt nekrotisch werden; VIERNSTEIN u. TÄGER sind der Ansicht, daß die wesentlichen Kriterien der Frakturbehandlung nicht eine ideale Stellung, sondern Achsenstellung und Verkürzung sind. Nach GEISER schützt eine Metallfixation des Knochens die Regenerationsvorgänge allen-

falls vor mechanischer Zerstörung, die Fixation kann aber auf Grund der Lebensvorgänge am Knochen nie stabil bleiben und auch die regenerierenden Kräfte nicht ersetzen, weil Elastizität, Festigkeit, Härte und Sprödigkeit des Knochens (BLOCK) schon unter physiologischen und erst recht unter pathologischen Bedingungen stark schwanken.

Eine operative Frakturenbehandlung ist nur gerechtfertigt, wenn ein gutes funktionelles Resultat durch die Operation eher als mit der konservativen Behandlung zu erwarten ist, wenn das Risiko für eine verzögerte oder ausbleibende Heilung geringer ist und wenn die Fraktur nicht durch andere Maßnahmen befriedigend reponiert oder retiniert werden kann (L. BÖHLER, EHRLICH, GEISER, HÄBLER, JONASCH, KÖNIG, M. LANGE, LEIMBACH, NICOLL, WELLER, WATSON-JONES). Außerdem ist nach GEISER die blutige Behandlung nur bei fehlendem Kontakt der Fragmente und bei Distraction der vitalen Fronten gestattet.

Zeitpunkt der Osteosynthese.

Von den Autoren, die eine operative Frakturenbehandlung vorschlagen, wird im Allgemeinen die Frühosteosynthese empfohlen (BERCHTHOLD, BERENTHEY; BRUCK u. MOSER; CORRODI, DE PALMA; EGCELING, PANZNER u. HÜBNER; FEHR, FORSSMANN, HÄUPTLI; KOSLOWSKI u. WELLER; M. E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER; P. MÜLLER, NIETLISPACH, E. REHN, SCHWARZ, STOLLMANN; STUCKE u. STOLLMANN, TITZE, TRUETA).

Nach den meisten Autoren ist die erwünschte Primärheilung Hauptgrund für die Frühoperation, weil die Fragmentenden anfangs nur geringe sekundäre Veränderungen zeigen und damit gute Voraussetzungen für die angiogene Wiedervereinigung der Kanalsysteme bieten (BERENTHEY; BRUCK u. MOSER; CORRODI). Außerdem spricht nach FEHR und TRUETA für die Frühoperation, daß eine Zerstörung der neugebildeten Kapillarsprossen unterbleibt. EGCELING, PANZNER u. HÜBNER; MATZEN und SCHWARZ fordern die Frühoperation wegen der kürzeren Behandlungsdauer; BERENTHEY, FEHR, FORSSMANN; KOSLOWSKI und WELLER, TITZE und TRUETA zur Vermeidung einer Gelenkschädigung durch lange Fixation.

ALLGÖWER, BERENTY, BÖTTGER, DANIS, FORSSMANN, GENEWEIN, HEUSER, KÜNTSCHER; MAURATH, CHRIST u. KÖBLER; M.E. MÜLLER; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER; NIETLISPACH, TITZE, TRUETA, WEBER und WIESER u. ALLGÖWER fordern die frühzeitige Osteosynthese im Hinblick auf eine möglichst schnell wiederhergestellte Funktion, welche den intraossären Kreislauf begünstigt (TITZE, TRUETA).

Außerdem ist nach E. REHN Ausnutzung der Stuporzeit der Muskulatur erforderlich, eine operative Behandlung kann sonst erst wesentlich später vorgenommen werden.

Andere Gründe für die Frühoperation sind Weichteilinterpositionen (BLOCK, FEHR, FORSSMANN, HAUCK, SCHWARZ, WITT) und absolute Ruhigstellung des Frakturgebietes bei offenen Frakturen, da Bewegungen eine Infektion unterhalten (NIETLISPACH).

Metallose des Osteosynthesematerials.

Untersuchungen von BLOCK u. BECKSTROEM und STRELLI haben ergeben, daß ein metallischer Fremdkörper auch bei Verbindung mit der Außenwelt über längere Zeit ohne Infektionsgefahr im Knochen verbleiben kann. Es können allerdings nur homogene und feinstpolierte Metalle verwendet werden, weil sonst an den Beanspruchungsstellen Ionisationspotentiale oder magnetische Störungen (M. LANGE) auftreten, die als Ausdruck der Korrosionsanfälligkeit Strukturveränderungen am Kristallgefüge verursachen (BLOCK u. BECKSTROEM).

Nach BRUSSATIS und FREY wurde bei einer mißlungenen Osteosynthese meist ein nicht korrosionsfester Stahl benutzt. Die Korrosion löst nach BRUSSATIS eine entzündliche Gewebsreaktion aus, in deren Verlauf der schwindende Knochen durch Granulationsgewebe ersetzt wird (BRUSSATIS, M. LANGE). Nach HÄBLER und HEUSER ist zwar am Knochen eine Fremdkörperwirkung denkbar, nach dem heutigen Stande jedoch weitestgehend ausgeschlossen. FEHR empfiehlt allerdings, bei der Osteosynthese am Knochen möglichst wenig Fremdkörpermaterial zu befestigen.

Nach KÖNIG und LEEMANN wird eine scheinbare Fremdkörper-

unverträglichkeit oft nicht durch das Material selbst, sondern durch eine mangelhafte Stabilität der operativ behandelten Fraktur oder nach KÖNIG und M. LANGE durch eine ungenügende Weichteildeckung verursacht. Nach BÖHLER und M. LANGE besteht durch Korrosion und Lockerung des metallischen Fremdkörpers die Gefahr einer verzögerten Kallus- und der Pseudarthrosenbildung.

ROTH berichtet über fibröse Nagelabkapselungen nach Marknagelung, allerdings ohne Einfluß auf das hämopoetische System.

Auf Grund der vorgetragenen Bedenken ist WEBER der Ansicht, daß das zur Osteosynthese gewählte Material sich in Form und Abmessung nach dem zu stabilisierenden Knochen zu richten hat und keinesfalls umgekehrt.

Die Osteosynthese des Unterschenkelbruches.

Nach neuerer Auffassung ist die Indikation zur operativen Behandlung einer Fraktur dann gegeben, wenn eine stabile Osteosynthese mit fester Vereinigung der Fragmente in absolut exakter Stellung zu erreichen ist; bei Übungs- oder Belastungsstabilität muß gleichzeitig ein ständiger Heilungsvorgang, möglichst im Sinne einer per-primam-Heilung, ablaufen.

Diese Indikation gilt auch für die operative Behandlung des Unterschenkel- und besonders des Unterschenkelrehbruches, zumal nach BÜRKLE DE LA CAMP, FEHR; KOCH u. KEMPTER; MAREK, anderen Autoren und nach unseren Erfahrungen bei konservativer Behandlung nach der Reposition eine erhebliche nachträgliche Fehlstellung eintreten kann.

Nach WELLER sind alle Osteosyntheseverfahren nur für bestimmte Beanspruchungen innerhalb gewisser Grenzen stabil. MAURATH, CHRIST u. KÖBLER haben die Beanspruchung des Unterschenkels bei Belastung und Übung berechnet; die festgestellten Werte dürfen bei Belastung und Übung nach Osteosynthese eines Unterschenkelrehbruches nicht überschritten werden (Tab. 14).

Tab. 14: Beanspruchung des Unterschenkels unter Belastung und Übung (MAURATH, CHRIST u. KÖBLER).

	normale Belastung	Übungsbelastung
Druckkraft (D)	70 Kp (Körpergewicht)	10 Kp (Muskelzug)
Zugbelastung (Z)	5 Kp	5 Kp
Torsionsbelastung (Mt)	60 cmKp (Drehung auf einem Bein)	10 cmKp
Quer- und Scherkraft (Q)	10 Kp	10 Kp

2. Die Marknagelung nach KÜNTSCHER.

Prinzip, Vorteil und Indikation der Marknagelung.

Ein Knochenbruch heilt nur dann einwandfrei, wenn der Kallus sich in vollkommener mechanischer Ruhe entwickeln kann, geschützt vor schädlichen Schub-, Scher- und überwiegenden Zugkräften; aus diesem Grunde muß der Bruchspalt für die Dauer der Heilung absolut ruhiggestellt werden (KÜNTSCHER).

Eine stabile Osteosynthese kann nach KÜNTSCHER nur mit dem Marknagel erreicht werden: Durch das Prinzip der elastischen Verklebung zwischen Knochen und Metall, welches die später entlang dem Nagel eintretende Resorption aufhebt. Die elastische Verklebung des Nagels wird beim Einschlagen durch Verminderung des Nagelquerschnitts mit Zusammenpressen der beiden V-förmigen Nagelschenkel und durch elastische Dehnung der Markhöhle erreicht; während der Resorptionsphase kann der Nagelquerschnitt sich bei gleichzeitiger Verengung des Knochenrohres ausdehnen.

Nach KÜNTSCHER muß der Nagel so dick sein, daß er feinste Bewegungen, Verbiegungen, Dauerbruch und Spannungskorrosion ausschließt. Der Durchmesser des Nagels soll deshalb 1 mm größer sein als der Querschnitt der aufgebohrten Markhöhle (BAUMGARTL; KOSLOWSKI u. WELLER; KÜNTSCHER). Außerdem muß der Nagel eine Biegebbeanspruchung von 100 kg aushalten können.

Da der Markraum im mittleren Drittel der Tibia sanduhrförmig eingeengt ist, ist der Markraum aufzubohren, damit er einen Nagel von ausreichend großem Querschnitt aufnehmen kann (KÜNTSCHER). Beim Aufbohren werden Endost und A. nutritia zerstört. Die A. nutritia hat nach KÜNTSCHER keinen entscheidenden Einfluß auf die Knochenernährung, da sonst nach Marknagelungen schwere Ernährungsstörungen des Knochens auftreten müßten; die mechanische Schwächung des aufgebohrten Knochens ist gering, weil die Aushöhlung von innen vorgenommen wird.

Als Vorteil der Marknagelung bezeichnet KÜNTSCHER die Periostschonung. Das Periost muß aus Ernährungsgründen mit den umgebenden Weichteilen in Verbindung bleiben. Außerdem wird nach KÜNTSCHER ein Anstieg der lokalen Azidität vermieden, ein geschlossenes Vorgehen ohne Brucheröffnung durchgeführt und nur eine kleine Wunde weit entfernt von der Fraktur gesetzt, sodaß keine Infektionsgefahr besteht. Auf einen zusätzlichen Gipsverband kann man verzichten (L. BÖHLER 1963, HÄBLER, HEUSER, GELBEKE, KÜNTSCHER, VOGT). Nach E. REHN erzwingt die Marknagelung außerdem die normale Null-Länge der Muskulatur.

Nach L. BÖHLER (1963), HÄBLER und KÜNTSCHER können alle Frakturen genagelt werden, sofern nach Form und Lage der Fraktur mit dem Marknagel eine stabile Osteosynthese zu erreichen ist. Unter diesen Voraussetzungen ist die Marknagelung eine absolut stabile Osteosynthese (L. BÖHLER 1963, BÜRKLE DE LA CAMP, HÄBLER; KARLINGER u. SAS; KÜNTSCHER, LEIMBACH; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER; SCHWARZ, VAN BEECK, VOGT) und ermöglicht eine primäre Frakturheilung (KARLINGER u. SAS) mit Bildung eines kleinen inneren und äußeren Randwulstes (KÜNTSCHER).

Die Marknagelung des Unterschenkelrehbraches.

Die Behandlung des Unterschenkelrehbraches ist nach Auffassung von HERZOG und KÜNTSCHER auf Grund der Bruchflächenform sehr schwierig, weil die Neigung dieser Frakturen, mit einer nachträglichen Dislokation verzögert auszuheilen, größer als beim Querbruch ist. Das Mittel der

Wahl bei der Behandlung des Unterschenkeldrehbruches ist aber nach KÜNTSCHER und ZUCMAN u. MAURER die Marknagelung.

Nach Aufbohrung des Markraumes ist durch das Prinzip der elastischen Verklebung eine Drehfehlstellung beim Unterschenkeldrehbruch ausgeschlossen (KÜNTSCHER), weil die richtige Drehstellung durch die Schrägstellung des Bruchspaltes automatisch erzwungen wird. Nach KÜNTSCHER ist eine Verdrehung der Bruchstücke des Drehbruches auch bei locker sitzendem Nagel nur unter Distraction möglich; die Distraction wird aber mit Sicherheit durch den Druck der Muskelspannung und des Körpergewichtes vermieden.

Beim Unterschenkeldrehbruch kann nach KÜNTSCHER nur dann eine Verdrehung der Fragmente eintreten, wenn ein zu dünner Nagel als Drehachse vorhanden ist und wenn gegen die Kräfte der Muskulatur und des Körpergewichtes eine Verlängerung erzwungen wird; unter Druck kann allenfalls entlang der schrägen Bruchebene eine geringe Verschiebung eintreten, bis der mediale Kortikalisrand des distalen Fragmentes am Nagel anstößt.

Nagel und Führungsspieß müssen nach KÜNTSCHER genau zueinander passen, weil der Nagel am Unterschenkeldrehbruch dazu neigt, an der schrägen Bruchfläche entlang zu gleiten. Vor der Nagelung muß die Verkürzung des Drehbruches genau ausgeglichen werden, weil sonst der Markraum verengt wird, nicht für den Nagel durchgängig ist und bei der Nagelung eine Diastase entstehen kann (L. BÖHLER 1963, KÜNTSCHER, SCHÜRCH, VOGT). Nach KÜNTSCHER muß der Nagel außerdem genau eingepaßt werden, am besten durch Aufbohrung. Beim Unterschenkeldrehbruch empfiehlt KÜNTSCHER Verwendung des starren Unterschenkelnagels mit ursprünglichem Profil, leichter Krümmung der Spitze und stärkerer Krümmung des Kopfes nach vorn; der Nagel muß genügend lang sein, weil er bis kurz oberhalb des oberen Sprunggelenkes einzuschlagen ist.

Bei der Nagelung des Unterschenkeldreh- und Schrägbruches entsteht nach KÜNTSCHER gelegentlich eine Knochenrohraufsprengung, wenn eine unerkannte Längsfissur des Knochens

vorgelegen hat oder ein zu dicker Nagel benutzt wurde. Nach HELLNER, HERZOG; KOSLOWSKI u. WELLER und VOGT kann außerdem die hintere Tibiawand perforiert werden, sodaß der Führungsspieß nicht benutzt werden sollte.

Allerdings können nach KÜNTSCHER sehr distal liegende Schräg- und Drehbrüche am Unterschenkel nicht ohne besondere Schwierigkeiten genagelt werden. BÖHLER (1963), KÜNTSCHER, MAATZ, MAREK und WELLER empfehlen bei distalen Frakturen den Rohrschlitz- oder Spreiznagel, den Nagel mit schiefer Ebene oder den Nagel nach LOTTES. Von HERZOG wurde der Nagel mit Ausklinkdrähten zur Vermeidung von Rotationsfehlstellungen besonders bei der Nagelung des sehr distalen Unterschenkeldrehbruches vorgeschlagen. Nach HERZOG wird das distale Fragment gegen Verdrehung gesichert, wenn nach der Nagelung zwei federnde Drähte vom öhrtragenden Ende in das Nagellumen eingeschoben und an vorausbestimmter Stelle in die Spongiosa des distalen Tibiaendes ausgeklinkt werden. Der Nagel nach HERZOG kann auch als Flecht- oder Wellennagel benutzt werden. Nach HERZOG können Frakturen im 4. und zu Beginn des 5. Sechstels der Tibia gut genagelt werden, weil der Innendurchmesser des Kompaktarohres und der Außendurchmesser des Nagels hier übereinstimmen.

Nach KÜNTSCHER kann bei vorschriftsmäßig durchgeführter Unterschenkelnagelung auf eine Fibulaosteotomie verzichtet werden.

Grenzen und Nachteile der Marknagelung des Unterschenkeldrehbruches nach Literaturangaben.

Nach den Berechnungen von MAURATH, CHRIST u. KÖBLER besteht beim Unterschenkelbruch nach der Marknagelung Stabilität gegen Druck- und Zugkräfte; bei aufgebohrtem Markraum ist eine weitgehende Sicherheit gegeben, bei nicht aufgebohrtem Markraum ist der Nagel nur an der engsten Stelle verklemmt, die bei Torsionsbelastungen am stärksten beansprucht wird. Ein Nachteil der Marknagelung ist die Stabilität gegen Druckkräfte, weil die Fragmente nicht zusammengepreßt werden können (MAURATH, CHRIST u.

KÖBLER); da auch das normale Torsionsmoment von 60 cmKp nicht übertragen wird, ist nach den genannten Autoren bei der Unterschenkelmarknagelung nur Übungsstabilität zu erreichen.

Aus diesem Grunde wird immer wieder eine Einengung der Indikation zur Marknagelung des Unterschenkeldrehbruches vorgeschlagen (ALLGÖWER, ANDERSON, BAUMGARTL; BAYNE, MORRIS u. WICKSTROM, BLUM, L. BÖHLER, BÖTTGER, FORSSMANN, GELBKE, HÄBLER, HELLNER, JONASCH KARITZKY, KESSLER; KOCH u. KEMPTER, M. LANGE, LEONHARDT; LOTTES, HILL u. KEY; MARTY, MÖRL; M.E. MÜLLER, ALLGOWER u. WILLENEGGER, SCHAUTZ, SCHNEIDER, SCHÜRCH; SCHUMPELICK u. JANTZEN; SCHWARZ, THOMSON, VOGT, WATSON-JONES; WELLER, WIESER u. ALLGÖWER).

Nach WELLER besteht eine ideale, gute und relative Indikation zur Unterschenkelmarknagelung, entsprechend der Frakturhöhe an der Tibia. Nach BAYNE, MORRIS u. WICKSTROM, L. BÖHLER, BÖTTGER, GELBKE; LOTTES, HILL u. KEY, MÖRL; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER, SCHWARZ und THOMSON reicht die Stabilität der Marknagelung nur bei Frakturen im mittleren Schaftdrittel der Tibia aus. Die Stabilität des markgenagelten Unterschenkeldrehbruches nimmt mit der Entfernung der Frakturstelle vom mittleren Drittel ab. Eine Stabilität liegt nach L. BÖHLER und HÄBLER besonders beim sehr distalen Unterschenkeldrehbruch und beim Ausbruch eines Drehkeiles nicht mehr vor.

Nach HÄBLER ist die Tibianagelung außerdem nur für quere, wenig schräge und kurze Frakturen geeignet. MARTY und VOGT sind der Ansicht, daß bereits im distalen Tibiafünftel eine ausreichende Stabilität nicht mehr zu erreichen ist. Andere Autoren schließen die Marknagelung bei Tibiaschräg- und Torsionsfrakturen aus, bei denen die Frakturlänge mehr als doppelte Schaftbreite (SCHNEIDER), mehr als halbe Schaftbreite (VOGT) oder mehr als 6 cm (BÖTTGER) beträgt.

ALLGÖWER, ANDERSON, FORSSMANN; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER, SCHÜRCH und WIESER u. ALLGÖWER meinen, daß der Marknagel am Unterschenkel feinste Mikrobewegungen

zuläßt, sodaß eine absolut stabile Osteosynthese nur selten besteht und die Konsolidation im günstigen Falle unter Bildung eines scharf begrenzten Fixationskallus erfolgen muß.

ALLGÖWER und ANDERSON äußern Bedenken gegen die teilweise Devitalisierung der Kortikalis durch Aufbohrung. Nach ALLGÖWER ist die Devitalisierung nicht unbedenklich für die Infektabwehr des Knochens. ANDERSON und LEONHARDT beobachteten nach Marknagelungen Durchblutungsstörungen der Kortikalis. Nach ANDERSON verhindert der Marknagel die endostale Kallusbildung.

Nach KARITZKY und SCHÜRCH ist die Marknagelung außerdem keine geschlossene Osteosynthese, selbst wenn der Nagel entfernt eingeschlagen wird. Der Infektionsverlauf ist nach Marknagelungen oft wesentlich ungünstiger als bei jedem anderen blutigen Eingriff (KARITZKY). ANDERSON und M. LANGE führen deshalb eine Unterschenkelnagelung nur aus, wenn ein besseres Ergebnis als mit einem anderen Behandlungsverfahren zu erwarten ist.

Ablehnung des Marknagels beim Unterschenkeldrehbruch wegen nachträglicher Fehlstellungen nach Literaturangaben.

In der Literatur wird relativ häufig darauf hingewiesen, daß nach der Nagelung von Unterschenkelfrakturen nachträglich Fehlstellungen eintreten können.

ALLGÖWER, L. BÖHLER, HERZOG, ILLES, MAATZ, MARTY; MAURER u. LECHNER; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER; MUMENTHALER, J. REHN, SCHNEIDER, VOGT und WEBER berichten vorwiegend über rotatorische Fehlstellungen. MARTY beobachtete bei 20 % aller Unterschenkelnagelungen eine Rotationsfehlstellung. Nach VOGT beträgt die Rotationsabweichung oft mehr als 20° . Sie entwickelt sich nach MAATZ meist schleichend; nach MUMENTHALER und SCHNEIDER steht eine Innenrotationsfehlstellung des distalen Fragmentes im Vordergrund der Beobachtungen. Nach KOCH u. KEMPTER und WEBER kommt es deshalb vorwiegend zur Verdrehung des distalen Unterschenkelfragmentes, weil die Nagelspitze

ungesichert im weiten Markraum der distalen Metaphyse liegt, während das proximale Nagelende durch seine Krümmung einwandfrei gesichert ist (WEBER). Der Nagel kann allerdings im Röntgenbild den Eindruck einer guten Formschlüssigkeit vortäuschen (MAATZ).

Die Rotationssicherung des distalen Unterschenkelfragmentes wird durch den Ausklinknagel verbessert (L. BÖHLER 1963, HERZOG; KOCH u. KEMPTER; VOGT, WEBER). Nach L. BÖHLER; SCHUMPELICK u. JANTZEN; VOGT und WEBER kann aber eine distale Unterschenkeldrehfraktur, die durch den Marknagel allein nicht rotationsstabil ist, auch durch Ausklinkdrähte nicht zuverlässig fixiert werden. Nach Auffassung von L. BÖHLER (1963) sitzen die Ausklinkdrähte zwar fest in der Spongiosa; sie haben aber auf Grund ihrer Rundung im Marknagel selbst keinen Halt, sodaß sie sich gegen den Nagel verdrehen können und mindestens eine Verdrehung des distalen Fragmentes von $5 - 10^{\circ}$ erlauben. L. BÖHLER und auch VOGT meinen, daß in derartigen Fällen auf eine äußere Fixation nicht verzichtet werden kann.

ALLGÖWER und M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER berichten über Achsenfehler und Abknickungen, die nach Unterschenkelmarknagelungen aufgetreten waren.

Auch KÜNTSCHER scheint Fehlstellungen nach Marknagelung nicht ganz auszuschließen, da er, MAATZ; MAURER u. LECHNER und MUMENTHALER im Falle der nachträglichen Fehlstellung eine korrigierende Osteotomie vorschlagen, die möglichst nicht am ehemaligen Frakturort liegen soll.

Resultate der Unterschenkelmarknagelung nach Literaturangaben.

In der Literatur fehlen genaue Angaben und Mitteilungen über die Ergebnisse bei der Marknagelung der Unterschenkel- und besonders der Unterschenkeldrehbrüche.

VAN BEECK übersieht 40 Tibianagelungen; die stationäre und ambulante Behandlungszeit betrug durchschnittlich 125 Tage. Bei 40 Nagelungen traten 8 % Pseudarthrosen auf. ZUCMAN u. MAURER berichten über 78 diaphysäre geschlossene

Marknagelungen; 75 heilten aus, 2 wurden pseudarthrotisch, bei einem Fall kam es zur Amputation. Bei 51 offenen Frakturen ergaben sich 45 Heilungen, 3 Pseudarthrosen und 3 septische Konsolidationen.

ANDERSON, BISTRÖM, KEIL und M. LANGE beobachteten nach Marknagelungen von Unterschenkelfrakturen in größerer Anzahl Pseudarthrosebildungen.

LOTTEs, HILL u. KEY stellten fest, daß nach Tibianagelungen verzögerte Heilungen eintraten; allerdings handelte es sich zum Teil um ernste Fälle mit erheblicher Dislokation.

BLUM und WATSON-JONES berichten über hochgradige Knochenatrophien nach Unterschenkelnagelungen. Diese Veränderungen werden von WATSON-JONES auf die nagelbedingte Verletzung der A. nutritia zurückgeführt. Nach BLUM traten in 72,3 % von 83 genagelten Unterschenkelfrakturen, davon bei 8 Torsionsbrüchen, schwere SUDECK'sche Atrophien auf.

HERZOG berichtet allerdings über 370 Unterschenkelfrakturen, die erfolgreich mit dem Rohrschlitznagel genagelt worden waren. Nach FICK wurden von insgesamt 3.055 Unterschenkelfrakturen 129 Fälle mit gutem Ergebnis genagelt. WERWIE behandelte Unterschenkelpseudarthrosen erfolgreich mit dem Marknagel.

Die Dauer der Arbeitsunfähigkeit betrug nach PEITSCH bei 21 genagelten Unterschenkelfrakturen durchschnittlich 284 Tage. HUBER berichtet über eine durchschnittliche Dauer der Arbeitsunfähigkeit von 26 Wochen und erzielte in 55,5 % der genagelten Fälle eine anatomische und funktionelle Restitution.

Nach FICK, KEIL; LOTTEs, HILL u. KEY wird durch die Marknagelung der Unterschenkelfraktur allgemein eine Verkürzung der Krankheitsdauer und eine Verbesserung der Endresultate erreicht, sodaß die Marknagelung bei richtiger Indikation und Technik der konservativen Behandlung überlegen erscheint. Nach BÜRKLE DE LA CAMP hat allerdings seit der Einführung des Marknagels die Anzahl der Fehlergebnisse und der Infektionen erheblich zugenommen.

3. Die straffe Drahtumschlingung des Unterschenkel- drehbruches.

Prinzip, Indikation, Vorteil der Drahtumschlingung.

Die Drahtumschlingung ist bei gewissen Frakturformen geeignet, die Bruchflächen nach der Reposition exakt aneinander und einigermaßen stabil zu halten (BÖTTGER; BRUCK u. MOSER; BÜRKLE DE LA CAMP; EGGELING, PANZNER u. HÜBNER; HAUCK, HUWYLER, LENTZ, P. MÜLLER, SCHWARZ), besonders bei der Gefahr einer Fragmentverdrehung (GRUNDMANN u. LINKS).

Nach BÖTTGER; COUCHOIX, DUPARC, DUBARGE, CARACOSTAS; HAUCK, HILTBRUNNER, HUWYLER, ILLES, P. MÜLLER, J. REHN; SCHUMPELICK u. JANTZEN; SCHWARZ und WITT ist die Indikation zur straffen Drahtumschlingung allgemein bei schrägen Frakturen gegeben, bei denen eine Einstellung schwierig, eine Verkürzungsverhütung unmöglich und eine größere Seitenverschiebung nicht auszugleichen ist.

Die straffe Drahtumschlingung ergibt keine völlig stabile Osteosynthese, aber eine exakte Adaption (BÖTTGER; BRUCK u. MOSER; LENTZ, MATZEN; SCHUMPELICK u. JANTZEN; STOLLMANN; STUCKE u. STOLLMANN; WITT). Die Drahtumschlingung hält nach GARE, STICH u. BAUER und KESSLER die reponierten Bruchstücke zuverlässig fest.

GRUNDMANN u. LINKS, HILTBRUNNER und SCHULTHEISS sehen in der Drahtumschlingung nach idealer Reposition eine stabile Osteosynthese, die einen gleichmäßigen interfragmentären Druck ausübt und bei unkomplizierten Frakturen fast immer ohne periostale Kallusbildung zu einer primären Heilung führt (HILTBRUNNER; SCHUMPELICK u. JANTZEN).

Nach BRUCK u. MOSER, DEBRUNNER, LEEMANN und WILLENEGGER (1953) ist die primäre Operationsstabilität nach der Drahtumschlingung nur vorübergehend, da im Ablauf der 4. bis 6. Woche eine Fragmentlockerung durch Resorption im Sinne einer umbaubedingten kritischen Erweichungsphase eintritt (FEHR, LEEMANN). Deshalb kann nach FORSSMANN im Vertrauen auf die Stellung der cerclierten Fraktur die biologische Frakturheilung nicht übersprungen werden.

Nach LEEMANN beträgt die Resorption der Fragmentenden in Abhängigkeit von der Exaktheit der Reposition nur Bruchteile von Millimetern; im Gegensatz dazu müssen die Fragmente bei konservativer Behandlung erheblich zusammenrücken.

Die Hauptindikation zur straffen Drahtumschlingung besteht bei den Dreh- und Schrägbrüchen des Unterschenkels (BECKER, BERCHTHOLD, BLUM, BÖTTGER; BRUCK u. MOSER; COUCHOIX, DUPARC, DUBARGE u. CARACOSTAS; FORSSMANN; GRUNDMANN u. LINKS; HAUCK, HELLNER, HILTBRUNNER, KESSLER, LEEMANN, LENTZ, MATZEN; MAURER u. LECHNER; P. MÜLLER, PROSKE, J. REHN, SCHAUTZ; SCHUMPELICK u. JANTZEN; STOLLMANN; STUCKE u. STOLLMANN; USADEL, WITT). Nach Auffassung von STUCKE u. STOLLMANN ist die Drahtumschlingung mit Abstand das beste Verfahren zur Behandlung des Unterschenkeldrehbruches. Die Drahtumschlingung soll besonders bei einer Varusstellung, die konservativ nicht beseitigt werden kann, ausgeführt werden (WITT). Dadurch kann eine besonders gute Stellung und eine einwandfreie Statik der Extremität erreicht werden (P. MÜLLER, WITT).

Die Länge des Unterschenkeldrehbruches darf nach USADEL und WITT nicht unter 3 cm, nach BRUCK u. MOSER nicht unter 3 bis 4,5 cm, nach LEEMANN; MAURER u. LECHNER; P. MÜLLER und STOLLMANN nicht unter 5 cm liegen. BÖTTGER und HILTBRUNNER verlangen eine Bruchlänge von 6 cm.

Nach BERCHTHOLD, DEBRUNNER und HÄUPTLI sollen Drehkeilfrakturen nicht mit der Drahtumschlingung behandelt werden. Nach LEEMANN ist eine Drehkeilfraktur nur dann für die Drahtumschlingung geeignet, wenn jede der beiden Keilbruchflächen mindestens 4 cm lang ist. LEIMBACH, LENTZ, SCHAUTZ und USADEL empfehlen die Drahtumschlingung nur bei Frakturen mit langen Spitzen und breiten Flächen. Nach Ansicht der meisten Autoren sind Stück- und Trümmerbrüche und Mehrfragmentenfrakturen auszuschließen.

Nach BRUCK u. MOSER; EGDELING, PANZNER u. HÜBNER; PROSKE, SCHWARZ, USADEL und WITT werden durch die Drahtumschlingung des Unterschenkeldrehbruches schädliche Scher- und

Biegungskräfte ausgeschaltet, weil die Drähte die Bruchenden eng zusammenpressen (USADEL). Außerdem werden die Scherkräfte nach USADEL durch die Zwingkraft der Umschlingungen in Druckkräfte umgewandelt, die jetzt senkrecht zur Bruchfläche stehen, im Sinne einer interfragmentären Kompression wirken und deshalb die Konsolidation begünstigen (USADEL), entsprechend dem Prinzip der Kräfteumwandlung bei der Schenkelhalbspseudarthrose (PAUWELS).

Entgegen der Auffassung von USADEL kommt es nach SCHUMPELICK und JANTZEN unter dem Einfluß der Drahtumschlingung nicht zu einer Transformation der Scher- in nützliche Druckkräfte, zumal nach HEUSER und SCHULTHEISS trotz der Cerclage des Unterschenkeldrehbruchs Biegungs- und Scherkräfte einwirken können.

Trotz dieser von vielen Autoren vorgetragenen Bedenken und Einschränkungen sehen LEEMANN und P. MÜLLER in der straffen Drahtumschlingung des Unterschenkeldrehbruchs wesentliche Vorteile: Wiederherstellung der Knochenkontinuität ohne notwendige Nachreposition; Fortfall der Extensionsschiene; auffallende Schmerzfreiheit durch stabile Fragmentverbindung; baldige Belastung im Gehgipsverband.

Technik der Drahtumschlingung beim Unterschenkeldrehbruch.

In der Literatur werden unterschiedliche Auffassungen über die notwendige Anzahl der Drahtumschlingungen geäußert. Die Übersicht gibt Aufschluß über die Einstellung der einzelnen Autoren (Tab. 15).

Tab. 15: Anzahl der notwendigen Drahtumschlingungen.

höchstens 1	MATZEN
höchstens 2	BÖTTGER, BRUCK u. MOSER, HAUCK, SCHWARZ, WITT
mindestens 2	FEHR, HÄUPTLI; STUCKE u. STOLLMANN, USADEL
2 - 3	BLUM, BÜRKLE DE LA CAMP; EGGELING, PANZNER u. HÜBNER; GRUNDMANN u. LINKS; HÄUPTLI; SCHUMPELICK u. JANTZEN, STOLLMANN
2 - 4	BERCHTHOLD, KESSLER, LEEMANN

Nach KESSLER ist der Drahttring volumenmäßig der kleinste versenkbare Fremdkörper und von außerordentlicher Zug- und Reißfestigkeit, seine mittlere Zerreißspannung beträgt $82,2 \text{ kg/mm}^2$. Nach BÖTTGER ist monofiler Draht mit geringer Elastizität zu verwenden, weil dieser biegefest und verträglich ist und Druck am Knochen vermeidet.

Bei der Drahtumschlingung des Unterschenkeldrehbraches wird grundsätzlich eine Periostschonung verlangt; das Periost darf nicht von den Weichteilen abgelöst werden und ist nach der Cerclage zu vernähen, weil sonst am Knochen Ernährungsstörungen auftreten können (BECKER, BÖTTGER; BRUCK u. MOSER; BÜCKLE DE LA CAMP; EGGELING, PANZNER u. HÜBNER; FEHR, HÄUPTLI; SCHUMPELICK u. JANTZEN; SCHWARZ, STOLLMANN; STUCKE u. STOLLMANN). Nach Auffassung dieser Autoren müssen die Drahtumschlingungen subperiostal angelegt werden, nach BRUCK u. MOSER jedoch epiperiostal, weil beim Erwachsenen das Periost nicht abgehoben werden könne.

Nach SCHUMPELICK u. JANTZEN dürfen die Drahtumschlingungen nicht zu nahe beieinander liegen. Nach BÖTTGER beträgt der Mindestabstand der Schlingen 3 bis 4 cm, nach BRUCK u. MOSER mindestens 1,5 cm. BECKER verlangt einen gleichmäßigen Abstand. LEEMANN und STUCKE u. STOLLMANN fordern, daß die Drähte mindestens 1 cm von den Fragmentspitzen entfernt angelegt werden. Nach WITT wird eine stabile Osteosynthese erst durch Anlegen der Umschlingungen in der Nähe der Fragmentspitzen erreicht. Nach HAUCK sind die vom Periost entblößten Fragmentspitzen abzutragen, weil sie dem Abbau unterliegen und außerdem ein Repositionshindernis darstellen.

Die Drahtumschlingungen sollen nur einfach liegen und miteinander verdreht werden (HÄUPTLI). BÖTTGER, FEHR und LEEMANN fordern jedoch Verwendung eines Drahtspanners; nach dem Anziehen der Drähte sollen die Drahtenden nicht verquirlt, sondern im Falzknoten nach lateral umgeschlagen werden. Nach LEEMANN verträgt der Falzknoten eine Belastung von 103,8 kg, der verquirlte Knoten von nur 50 kg.

BECKER, KESSLER, LEEMANN, STUCKE u. STOLLMANN und WITT verlangen ein festes, sattes Anspannen der Drahtumschlingungen, bei Abgleitgefahr mit zusätzlicher Einkerbung des Knochens (WITT); der Spanndruck soll zwischen 60 und 80 kg liegen (LEEMANN, SCHULTHEISS; STUCKE u. STOLLMANN; WILLENEGGER 1953).

Nach BÖTTGER; BRUCK u. MOSER; BÜRKLE DE LA CAMP; EGGE-LING, PANZNER u. HÜBNER und SCHULTHEISS dürfen die Drahtumschlingungen nicht zu fest angezogen werden, weil als Folge von Durchblutungsstörungen quere Pseudarthrosen beobachtet worden sind; außerdem sollen die Frakturrenden etwas zusammenrücken können.

Nachbehandlung des Unterschenkelrehbraches nach der Drahtumschlingung.

Die Drahtumschlingung des Unterschenkelrehbraches ist nach Ansicht der meisten Autoren keine stabile Osteosynthese, sodaß nach der Operation Ruhigstellung im Oberschenkelgipsverband erfolgen muß. Nach Auffassung von BECKER und KESSLER genügt bei einwandfreier Stabilität ein Gipsverband bis zum Kniegelenk.

Fixationsdauer, Zeitpunkt der ersten Belastung im Gehgipsverband und der vollen Belastung werden in der Literatur unterschiedlich angesetzt (Tab. 16).

Die Entfernung der Drahtumschlingungen soll nach BÖTTGER, HÄUPTLI und STUCKE u. STOLLMANN möglichst früh vorgenommen werden. FORSSMANN entfernt die Drähte nach 6 bis 8, HÄUPTLI nach 7 bis 9 und MAURER u. LECHNER nach 10 Wochen, MÖRL nach Ablauf von 3 Monaten.

Störungen nach straffer Drahtumschlingung.

Nach straffer Drahtumschlingung des Unterschenkelrehbraches besteht die Gefahr einer Heilungsstörung (BERCHT-HOLD, L. BÖHLER, EHALT, FEHR, GEISER; GRUNDMANN u. LINKS; HUWYLER, JANTZEN, KÜNTSCHER, M. LANGE, LEEMANN, LEIMBACH, MEIER-STAUFFER, SCHULTHEISS; SCHUMPELICK u. JANTZEN; SCHWARZ, WILLENEGGER 1953). Im Vordergrund der mitgeteilten Erfahrungen steht eine quere Pseudarthrosenbildung,

Tab. 16: Fixationsdauer und Zeitpunkt der Belastung nach Drahtumschlingung.

	Dauer der Liegegips- behandlung	Erste Belastung im Gehgipsverband	Volle Belastung ohne Gipsverband
BECKER	9 Wo.	-	nach 9 Wo.
BOTTGER	6 Wo.	nach 6 Wo.	
BRUCK u. MOSER	3 Wo.	nach 5 Wo.	
HAUCK	6-8 Wo.	-	nach 6-8 Wo.
HÄUPTLI	12 Wo.	-	nach 12 Wo.
HILTBRUNNER		-	nach 10-13 Wo.
KESSLER	3 Wo.	nach 3 Wo.	nach 6-7 Wo.
LEEMANN	einige Tage	nach einigen Tg.	nach 10-16 Wo.
LENTZ	4 Wo.	nach 4 Wo.	nach 10 Wo.
MATZEN	4 Wo.	nach 4 Wo.	
P. MÜLLER	4 Wo.	nach 4 Wo.	nach 8-12 Wo.
SCHUMPELICK u. JANTZEN	6 Wo.	nach 6 Wo.	
STUCKE u. STOLLMANN	8 Wo.	-	nach Konsolidation
USADEL	2-3 Wo.	nach 2-3 Wo.	nach 10-12 Wo.
WITT	8-10 Wo.	-	nach 8-10 Wo.

die nach SCHULTHEISS meistens in Höhe der unteren oder zweitunteren Drahtschlinge liegt.

Nach L. BÖHLER, LEIMBACH und MEIER-STAUFFER wird eine derartige Pseudarthrosenbildung durch zu straffe Drahtumschlingungen verursacht, wobei auf Grund von Ernährungsstörungen Umbauvorgänge ausgelöst werden. Nach WILLENEGGER (1953) wird die quere Pseudarthrose am cerclierten Unterschenkeldrehbruch durch zu frühe Belastung ausgelöst, da nach BERCHTHOLD, HUWYLER, LELMANN, SCHULTHEISS und SCHWARZ trotz des Gipsverbandes Biegs- und Scherkräfte auftreten können, die für die Konsolidation ungünstig sind.

BERCHTHOLD, DEBRUNNER, HUWYLER, KEIL und KESSLER bemerkten Verzögerungen und Pseudarthrosebildungen am Unterschenkel vorwiegend nach der Behandlung von Drehkeilfrakturen mit der Drahtumschlingung und nehmen deshalb an, daß der Drehkeil auf Grund ungenügender Ernährung wesentlich langsamer konsolidiert als der eigentliche Torsionsbruch. GEISER führt die Pseudarthroseentstehung auf die bei der Drahtumschlingung eintretende fleckige Osteoporose zurück, die ein weiterer Beweis für die Tendenz zu verzögerter Heilung nach Cerclage sei. WITT bemerkte allerdings nach Drahtumschlingungen von Unterschenkeldrehbrüchen weniger Durchblutungsstörungen als bei konservativer Behandlung.

Ablehnung der straffen Drahtumschlingung und Befürwortung der lockeren Drahtnaht beim Unterschenkeldrehbruch.

Nach JANTZEN ist die straffe Drahtumschlingung des Unterschenkeldrehbruches ein Widerspruch in sich, weil die langen Brüche, die zur Cerclage geeignet sind, auch ohne Operation konsolidieren, während die kurzen Drehbrüche nicht gedrahtet werden können.

L. BÖHLER, GEISER, JANTZEN, KEIL, KNÜPPER, KÜNTSCHER, M. LANGE, LEIMBACH und J. REHN u. HIERHOLZER lehnen die straffe Drahtumschlingung des Unterschenkeldrehbruches wegen einer erheblichen Verzögerung der periostalen

Kallusbildung ab.

Nach GEISER ist die Drahtumschlingung des Drehbruches sinnlos, weil dabei tote Knochenpartien zusammengepreßt werden und die periostale Kallusbildung behindern. Nach Auffassung von GEISER muß die Fraktur nach der Cerclage verzögert rein endostal konsolidieren und der Ersatz der toten Fragmentenden schleichend vom Markkanal ausgehen, sodaß die Fraktur nicht dank, sondern trotz der Cerclage abheilt. Außerdem ist nach GEISER oft eine ausgeprägte Sklerosierung des Frakturspaltes als Ausdruck der ernährungsbedingten Devitalisierung zu beobachten. Nach L. BÖHLER verursacht die feste Drahtumschlingung einen langwierigen Verlauf mit Reizkallusbildung. Nach KÜNTSCHER kann durch straffe Cerclage eine Knochenresorption ausgelöst werden. Auch COUCHOIX, DUPARC, DUBARGE u. CARA-COSTAS sehen in der straffen Drahtumschlingung keine besonderen Vorteile. Nach SCHUMPELICK u. JANTZEN sind allerdings die Cerclagedrähte selbst für die verzögerte Konsolidation nicht verantwortlich.

L. BÖHLER, HÄBLER, JONASCH, LEIMBACH, MÖRL, RUSSE und TITZE empfehlen deshalb bei unstabilen Unterschenkel Drehbrüchen eine lockere Drahtnaht, die das Periost nicht abschnürt und bei langen Drehbrüchen eine ausreichende Stabilität ergibt, ohne daß eine nennenswerte Seitenverschiebung stattfinden kann. Nach Auffassung der genannten Autoren erlaubt die lockere Drahtnaht außerdem eine Annäherung der Fragmentenden im Ablauf der zwangsläufig eintretenden Resorption.

Die lockere Drahtumschlingung ist allerdings nach MAURER u. LECHNER und TITZE eine sehr instabile Osteosynthese, sodaß postoperativ zusätzlich eine Fixation im Gipsverband erforderlich ist.

Von BECKER, FEHR und LEEMANN wird die lockere Drahtnaht zur Behandlung des Unterschenkel Drehbruches abgelehnt. Nach Auffassung von BECKER können die Fragmentenden auch bei ursprünglich festen Drähten in Berührung treten, wenn wirklich die Nekrose und Resorption nach L. BÖHLER ein-

treten würde; die von L. BÖHLER geforderte lockere Drahtnaht ist nach BECKER überflüssig, weil bei straffer Drahtumschlingung sonst immer eine wesentliche Dehizensz zurückbleiben müßte.

Nach LEEMANN ist die von L. BÖHLER vorgeschlagene lockere Drahtnaht keine Osteosynthese; bei der straffen Drahtumschlingung kann nach LEEMANN eine Druckatrophie des Knochens nur dann auftreten, wenn der Fremdkörper bei ungenügender Stabilität am Knochen scheuern kann. Nach LEEMANN liegt der Unruheherd erfahrungsgemäß an den Schlingen, die im Brennpunkt liegen, während unruheferne Drähte störungsfrei bleiben. Gerade durch eine lockere Drahtnaht mit meist ausgeprägter Unstabilität wird das Auftreten eines wolkigen, wenig strukturierten Reizkallus erheblich begünstigt (FEHR, LEEMANN).

Subkutane extraperiostale Drahtumschlingung nach GOETZE.

Nach KOCH u. KEMPTER stellt der Unterschenkeldreh- und Schrägbruch eine Hauptindikation für die subkutane extraperiostale Drahtumschlingung dar, weil bei diesen Frakturformen nach anfänglich gutem Repositionsergebnis regelmäßig eine Fehlstellung eintritt. Die halboperative Behandlung nach GOETZE erfüllt nach Auffassung von KOCH u. KEMPTER alle Vorzüge einer voll-operativen Versorgung, vermeidet aber Störungen der biologischen Vorgänge nach operativer Freilegung und setzt die Infektionsgefahr herab.

Bei dem Verfahren nach GOETZE wird die Reposition mit der Fersendrahtstrecke vorgenommen. Nach der Drahtumschlingung wird ein Gipsverband angelegt. Nach Ablauf von fünf Wochen erfolgt Versorgung mit einem Gehgipsverband. Die erste Belastung wird im Allgemeinen nach 10 Wochen gestattet.

KOCH u. KEMPTER berichten über 100 Fälle ohne verzögerte Konsolidation und betrachten die subkutane Drahtumschlingung als eine leistungsfähige Methode, weil die Kallusbildung durch die extraperiostale Lage des Drahtes nicht behindert wird und die gut reponierte und fixierte Dreh-

fraktur nur so viel Kallus bildet, wie für die Konsolidation unbedingt erforderlich ist.

Resultate der straffen Drahtumschlingung des Unterschenkelrehbruchs nach Literaturangaben.

In den folgenden Aufstellungen werden die in der Literatur berichteten Behandlungsergebnisse miteinander verglichen, obwohl die Auswertungen teilweise unter verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen worden sind.

Die tabellarischen Übersichten wurden nach Literaturangaben unter den Gesichtspunkten der Dauer der Konsolidation, der Krankenhausbehandlung und der Arbeitsunfähigkeit aufgestellt; außerdem wurden Angaben über Komplikationen und funktionelle Ergebnisse ausgewertet (Tab. 17 bis 20).

Tab. 17: Konsolidationsdauer nach straffer
Drahtumschlingung.

	Konsolidations- dauer	in % der Fälle
BECKER		100 %
BERCHTHOLD	12 Wo.	88 %
BLUM		66,7-88,8 %
BRUCK u. MOSER		83 %
HÄUPTLI		99,3 %
HILTBRUNNER		64,7 %
KEIL		83 %
KESSLER	6-7 Wo.	
KÖNIG	97,7 Tg.	
LEEMANN	10-14 Wo.	92,4 %
P. MÜLLER		83,3 %
SCHUMPELICK u. JANTZEN		77 %
USADEL	8,1 Wo.	
WITT	8-10 Wo.	

Tab. 18: Dauer der stationären Behandlung und Arbeitsun-
fähigkeit nach straffer Drahtumschlingung.

	Stat.Behandlung	Arbeitsunfähigkeit
BERCHTHOLD	7 Wo.	18 Wo.
BLUM	52,2-83,9 Tg.	159,8-193,3 Tg.
BRUCK u. MOSER		in 83 %: 20 Wo.
FEHR		135 Tg.
HÄUPTLI	11,2-24,0 Wo.	
HUBER		17 Wo.
KESSLER	60,2 Tg.	17-20 Wo.
LEEMANN	1-2 Wo.	20 Wo.
P. MÜLLER	48 Tg.	167 Tg.
SPOHN		26 Wo.
STOLLMANN	49-67 Tg.	149-225,5 Tg.
USADEL	5,8 Wo.	14,6 Wo.

Tab. 19: Komplikationen bei straffer Drahtumschlingung.

	Sudeck	Verz.Kons.	Refrakt.	Infektion	Pseud- arthrosen	Reizung am Drahtring
BERCHTHOLD	2 %	8,1- 12 %	2 %	0,7 %	1,5 %	2 %
BLUM	49-66,6 %	22,2-26,8 %	1,5 %			3 %
BRUCK u. MOSER		17 %				
FEHR		5,5 %		0 %	0,7 %	
HÄUPTLI						
HILTBRUNNER		33,3 %				
KEIL		16,9 %				
KESSLER		8,5 %		0 %		
KÖNIG		10 %		20 %		
LEEMANN		7,6 %				
P. MÜLLER	28,5 %	9,5 %			7,1 %	
SCHUMPELICK		21,3 %		5 %		
u. JANTZEN	1,6 %	5,5 %		2 %		
USADEL		3,8 %			1,9 %	
WITT						

Tab. 20: Funktionelles Ergebnis nach straffer Drahtumschlingung.

	BECKER	BERCHTHOLD	DEBRUNNER	HUBER	P. MÜLLER
Verdrehung über 5°					0 %
Verdrehung unter 5°					2,3 %
Versteifung im Knie-u. Sprunggelenk über 10°				} 21 %	5,0 %
Verkürzung über 2 cm		7,4 %	0 %	}	2,5 %
Achsknickung über 10°				}	0 %
Achsknickung über 5°				}	0 %
Gesamtergebnis: Gut	100 %		76,2 %		
Befriedigend			14,3 %		
Schlecht			9,5 %		
Renten					7,1 %

4. Das AO-Verfahren bei der Behandlung des Unterschenkel-drehbruches.

Prinzip und Vorteil des AO-Verfahrens.

Die Osteosynthese mit exakter Adaption, interfragmentärer Kompression und absoluter Stabilität erlaubt unter Verzicht auf eine postoperative Fixation eine baldige funktionelle Übungsbehandlung und eine spätere Belastung, sodaß Weichteil- und Gelenkschädigungen vermieden werden. Gleichzeitig läuft ein Heilungsprozeß im Sinne der perprimam-Heilung ab, die direkt vom Bindegewebe der HAVERSschen Kanäle ohne periostale oder endostale Reaktion getragen wird; Kallusbildung ist als pathologisch zu betrachten und zeugt von unzulänglicher Fixation und Unruhe am Frakturspalt (ANDERSON, ECKE; KARLINGER u. SAS, KÜNTSCHER, M.E. MÜLLER, RINIKER; SCHENK u. WILLENEGGER; VITALI ; WIESER u. ALLGÖWER; WILLENEGGER, SCHENK, STRAUMANN, MÜLLER, ALLGÖWER u. KRÜGER).

Die interfragmentäre Stabilität einer Fraktur ist nach Auffassung der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen durch Kompressionsschrauben und Druckplatten und im weitesten Sinne auch mit dem Marknagel zu erreichen. Der Frakturspalt ist bei idealer Adaption und Verschraubung unsichtbar oder höchstens als feinste Aufhellung sichtbar.

Das System der Kompressions- und Druckplattenverschraubung wurde von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen unter Wiederaufnahme der ersten Beobachtungen von DANIS (1949) entwickelt. Nach übereinstimmender Auffassung von ALLGÖWER; ALLGÖWER u. WILLENEGGER; DECOULX u. RAZEMON; M.E. MÜLLER, VITALI und WIESER u. ALLGÖWER wirkt die interfragmentäre Kompression am Frakturspalt konsolidationsfördernd; allerdings ist nach ANDERSON und MATZEN noch ungeklärt, ob die beim AO-System beobachteten kurzen Heilungszeiten auf einer osteogenetischen Wirkung des Druckes beruhen. Druck bewirkt aber nach ANDERSON und MATZEN zumindest eine bessere Adaption und Ruhigstellung der Fraktarenden.

Besonders vorteilhaft ist nach ANDERSON, daß beim AO-Ver-

fahren eine Schädigung der Blutversorgung von Mark und Rinde ausbleibt.

Nach BÜRKLE DE LA CAMP; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER und WILLEN-EGGER bewirkt die Unterdrucksetzung der Fragmente eine anfängliche funktionelle und nach einigen Wochen Belastungsstabilität, ohne daß sich durch Lockerung(WAGNER) sekundäre Achsenfehler einstellen können (WEBER).

Nach Berechnungen von MAURATH, CHRIST und KÖBLER ist die Stabilität der AO-Osteosynthese von der Anzahl der Schrauben abhängig. Belastungsstabilität liegt erst bei Verwendung von zwei Platten mit mindestens sechs Schrauben vor. Als Vorteil ist zu werten, daß infolge Vorspannung der Fragmente eine primäre Knochenbruchheilung ablaufen kann. Als Nachteil wird der große Aufwand mit zwei Platten, der für eine belastungsstabile Osteosynthese erforderlich ist, angesehen. Bei Verwendung von nur einer Platte und bei der reinen Schraubenmethode liegt keine Stabilität gegenüber normaler Belastung vor, sondern nur Übungsstabilität. Die Schrauben sind nach MAURATH, CHRIST u. KÖBLER möglichst fest anzuziehen.

WAGNER hat die Gewebsverträglichkeit der beim AO-Verfahren benutzten Schrauben untersucht. Das Knochengewebe ist in der Lage, einen im physiologischen Bereich liegenden Druck zu tolerieren, ohne daß Abbau eintritt; erst nach Überschreiten des optimalen Druckes erfolgt Abbau. Das Gewinde der AO-Schrauben ist nach WAGNER relativ geräumig, sodaß ein gut ernährtes Knochengewebe mit Gefäßen und Knochenmark Platz findet; bei Schrauben mit feinem Gewinde ist die Flächenbelastung des Knochens größer und führt zu bindegewebigem Knochenabbau mit Schraubenlockerung. Nach WAGNER hält der Abbau in der Umgebung der AO-Schraube nur so lange an, bis durch allmähliches Nachgeben der Schraube der Druck auf einen physiologischen Wert absinkt; danach füllen sich die Schraubengewindegänge mit neuem Knochen auf.

Indikation zur Behandlung des Unterschenkel-drehbruches und Technik des AO-Verfahrens.

Die langen Dreh- und Schrägbrüche des Unterschenkels sind für die Verschraubung mit Kortikalisschrauben oder auch mit schmalen Platten besonders gut geeignet (ALLGÖWER, BERENTY, BÖTTGER, CORRODI; COUCHOIX, DUPARC, DUBARGE u. CARACOSTAS; DECOULX u. RAZEMON; DE PALMA, LAM; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER; SCHAUTZ, SCHWARZ, TRILLAT, WATSON-JONES und WIESER u. ALLGÖWER). Beim Unterschenkel-drehbruch müssen die Bruchflächen mindestens 6 cm lang sein (BÖTTGER; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER) oder mindestens doppelte Schaftbreite messen (ALLGÖWER, CORRODI).

Die zweckmäßige Verschraubung des Unterschenkel-drehbruches wird mit zwei bis vier Schrauben ausgeführt. Die Schrauben sollen möglichst gegeneinander versetzt werden; eine senkrechte Anordnung ist nicht gestattet. Mindestens eine Schraube muß senkrecht zur Schaftachse des Knochens liegen (ALLGÖWER; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER, TRILLAT).

Unterschenkel-drehbrüche mit Drehkeilen können ebenfalls gut verschraubt werden, wenn genügend lange Bruchflächen vorliegen; bei der Verschraubung darf der Drehkeil allerdings nicht entblößt werden (ALLGÖWER). Wenn die beiden Hauptfragmente nicht mit mindestens einer Schraube vereinigt werden können, ist Versorgung mit Schrauben und Platten erforderlich (M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER).

Grundsätzlich wird eine Frühoperation des Unterschenkel-drehbruches vorgeschlagen. Allerdings berichtet LAM über 177 Fälle von Tibiaschaftfrakturen, von denen 53,7 % sofort und 44,7 % sekundär mit Platten und Schrauben behandelt worden waren; nach Mitteilung von LAM kann der Anteil von Pseudarthrosen durch die verzögerte Osteosynthese um 50 % reduziert werden.

Nachbehandlung des AO-versorgten Unterschenkelrehbruches.

In der Literatur besteht Übereinstimmung, daß bei den mit dem AO-Verfahren behandelten Unterschenkelrehbrüchen eine Ruhigstellung im Gipsverband überflüssig ist. Nur SCHWARZ hält eine vorübergehende Gipsfixation für erforderlich.

Im Allgemeinen werden bereits 24 Stunden nach der Operation aktive Bewegungen der verletzten Extremität gestattet. Vor der ersten Belastung soll Versorgung mit einem Fixationsapparat nach RÖCK vorgenommen werden (M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER). M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER haben genaue Richtlinien für den frühesten Zeitpunkt der Teil- und Vollbelastung aufgestellt (Tab.21).

Tab. 21: Zeitpunkt der ersten Belastung.

	Teilbelastung	Vollbelastung
Kurze Schrägfrakturen im unteren Drittel	nach 6-8 Wo.	nach 9-12 Wo.
Kurze Schrägfrakturen nach Plattenosteosynthese unterhalb der Schaftmitte	nach 3-6 Wo.	nach 6- 8 Wo.
Torsionsfrakturen, mit Platten oder Schrauben versorgt	nach 6-10 Wo.	nach 10-12 Wo.
Drehkeilfrakturen	nach 10-14Wo.	nach 14-20 Wo.

Das Osteosynthesematerial soll nach ALLGÖWER erst nach Ablauf eines Jahres entfernt werden, sofern die Frakturzone eine homogene Struktur zeigt. Gelegentlich kann die erwartete primäre Knochenbruchheilung eine Beurteilung der Tragfestigkeit erschweren (ALLGÖWER; KARLINGER u. SAS; WILLENEGGER, SCHENK, STRAUMANN, M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. KRÜGER).

Ablehnung des AO-Verfahrens beim Unterschenkelrehbruch.

Von L. BÖHLER, KÜNTSCHER, M. LANGE und MEIER-STAUFFER wird die frakturübliche Knochenendenresorption als Argument gegen den Gebrauch von Platten und Schrauben angeführt, weil die nachfolgende Resorption die Frakturenenden auseinanderhalte. Nach ANDERSON kommt es jedoch nur dann

zu einer Resorption der Kortikalisenden, wenn eine Kompression im Sinne der Vorspannung nicht vorlag und eine Lockerung von Platten und Schrauben eintritt.

Von GEISER, GELBKE und KÜNTSCHER wird das AO-Verfahren grundsätzlich abgelehnt.

GEISER begründet seine Ablehnung wie folgt: Bei jeder Fraktur tritt eine Devitalisierung der Knochenenden ein. Je mehr Schrauben beim Tibiabrush angelegt werden, desto grösser ist die Stabilität, desto grösser aber auch der Abschnitt des zusätzlich devitalisierten Knochens. Je weniger Schrauben weit auseinander liegen, desto geringer ist die Stabilität, desto geringer aber die Schädigung der primären Knochenregeneratoren und die zusätzliche Devitalisierung des Knochens.

GELBKE meint, die weit offene Behandlung nach dem AO-Verfahren sei sehr diffizil und risikoreich. KÜNTSCHER (1964) befürchtet eine erhebliche Periostschädigung durch Platten und Schrauben, sodaß das Periost bei ausbleibender Primärheilung nicht mehr in der Lage sei, zumindest Reizkallus zu entwickeln.

Störungen nach Behandlung des Unterschenkeldrehbruches mit dem AO-Verfahren.

Bei mangelnder Stabilität und zu früher Belastung kann nach Behandlung mit dem AO-Verfahren eine Störung der primären Knochenbruchheilung eintreten (ALLGÖWER, ANDERSON, CORRODI; KARLINGER u. SAS; RINIKER, TRUETA, WIESER). Die Störung zeigt sich im Röntgenbild als Verbreiterung des Bruchspaltes mit osteolytischen Zonen, Achsknickungen und Reizkallusbildung. Unter Entlastung erfolgt nach WIESER u. ALLGÖWER eine Umwandlung des Reizkallus in belastungsfähigen Fixationskallus; wenn im Reizkallus zusätzlich Aufhellungen auftreten, muß wegen Pseudarthrosegefahr über längere Zeit eine absolute Ruhigstellung erfolgen.

WIESER und HERFARTH u. FRANKE beobachteten selbst bei völliger Stabilität Aufhellungen und Periostauflagerungen im Sinne einer Infektion; es handelte sich dabei nach

HERFARTH u. FRANKE um aseptische Entzündungen mit negativem Erregernachweis. Nach WIESER werden derartige aseptische Entzündungen durch eine Metallose des Osteosynthesematerials verursacht, nach HERFARTH u. FRANKE auf Grund der geringeren Weichteildeckung der Platten an der medialen Seite der Tibia.

Nach den Berichten von WIESER u. ALLGÖWER verläuft aber die reaktive Knochenatrophie nach Anwendung des AO-Verfahrens wesentlich milder als bei konservativer Behandlung.

Ergebnisse bei der Behandlung des Unterschenkeldrehbruchs mit dem AO-Verfahren nach Literaturangaben.

Da das AO-Verfahren eine neue Osteosynthesemethode ist, liegen ausführliche statistische Angaben in der Literatur noch nicht vor.

COUCHOIX, DUPARC, DUBARGE u. CARACOSTAS berichten über 134, DECOULX u. RAZEMON über 200 Fälle von Unterschenkeldrehbrüchen, die mit ausgezeichnetem Resultat nach der AO-Methode behandelt wurden.

CORRODI teilt in einem sehr frühen Bericht (1961) mit, daß in $\frac{1}{3}$ aller Fälle eine primäre Heilung eintrat. In 85,8 % von 113 Fällen wurde eine völlige Wiederherstellung erreicht. Die Dauer der Arbeitsunfähigkeit lag nach CORRODI zwischen 75,1 Tagen bei unkomplizierten und 267 Tagen bei gestörten Fällen bei nur einem Invaliditätsfall. TRILLAT berichtet über eine durchschnittliche Heilungsdauer von 3 Monaten.

M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER verzeichneten in 60 % aller Fälle eine per-primam-Heilung.

ANDERSON und VITALLI sehen in der möglichst fugenlosen Adaption der Frakturrenden einen bedeutenden Fortschritt. Nach ALLGÖWER ist das AO-Verfahren beim Unterschenkeldrehbruch bezüglich Heilungszeit und Funktion der Drahtumschlingung überlegen.

5. Andere Operationsmethoden zur Behandlung des Unterschenkeldrehbruches.

Intramedulläre Fixation nach RUSH.

Nach BÖTTGER und GELBKE u. RUSH sind die langen Unterschenkelschräg- und Spiralbrüche zur intramedullären Fixation nach RUSH geeignet. Eine günstige Druckeinwirkung auf die Fragmentenden wird nicht verhindert, weil der Knochen sich über dem Pin teleskopartig verschieben kann. Nach GELBKE u. RUSH sind bei Frakturen im unteren Tibiadrittel ein oder zwei Pins erforderlich, die an je drei Stellen verklemmen müssen. Nach EDWARDS, KÜNTSCHER, LEIMBACH, J. REHN u. GELBKE u. RUSH kann auf eine äußere Fixation meist nicht verzichtet werden.

BÖTTGER, M. LANGE, LEIMBACH, SCHWARZ und MAURER u. LECHNER vertreten die Auffassung, daß das Verfahren nach RUSH nur für gelenknahe Frakturen zu verwenden ist.

MAURATH, CHRIST u. KÖBLER haben bei Berechnungen festgestellt, daß die intramedulläre Fixation nach RUSH keine stabile Osteosynthese ergibt.

Bündelnagelung nach HACKETHAL.

Nach HACKETHAL besteht nach der Bündelnagelung eine Stabilität gegen Verformung in mehreren Richtungen durch Vielpunkteverklemmung. Die Bündelnagelung eignet sich für Frakturen, die an der engsten Stelle des Markraumes liegen und die mit dem KÜNTSCHER-Nagel nicht genügend stabilisiert werden können; nach HACKETHAL wird die Rotationsmöglichkeit des distalen Fragmentes mit der Bündelnagelung besonders gut verhindert. Die Kallusbildung ist allerdings im Vergleich zur reinen Gipsbehandlung verzögert (HACKETHAL). Nach den Untersuchungen von MAURATH, CHRIST u. KÖBLER ergibt die Bündelnagelung nur eine geringe Stabilität.

Andere Operationsverfahren zur Behandlung des Unterschenkeldrehbruches.

BATTAGLIA u. GANDOLFI berichten über gute Resultate nach

Verschraubung von reponierten Unterschenkeldrehbrüchen, die anschließend für 30 bis 40 Tage im Gipsverband fixiert wurden. SCAGLIETTI hat ebenfalls gelegentlich stabile Osteosynthesen von Unterschenkeldrehbrüchen durch Verschraubung erreicht.

Von WHITE, RADLY u. EARLY wurden bereits 1953 bei 66 Unterschenkelfrakturen Schrauben zur Stabilisierung benutzt; nach den Autoren war das Ergebnis in 66,6 % sehr gut, in 10,6 % gut und in 16,6 % schlecht.

SCHWIER empfiehlt bei Unterschenkeldreh-, Schräg- und Stückbrüchen Behandlung mit knöchernen Schrauben und anschließender Ruhigstellung im Gipsverband.

ABEL verwendet bei der Behandlung des kurzen Unterschenkeldreh- und Schrägbruches eine längsverschiebliche Platte; nach dem Anziehen der beweglichen Teile wird eine Druckausübung ermöglicht.

PROSKE empfiehlt bei Unterschenkelschräg- und Drehbrüchen eine Behandlung mit der Spanndrahtumschlingung, die eine stabile, regulierbare Kompressionsbehandlung mit per-primam-Heilung innerhalb von 10 Wochen ergibt (Bericht über 15 Fälle).

WITTMOSER berichtete 1953 über ein Verfahren zur Druckosteosynthese von Schrägbrüchen mit Spannringen, die durch den Knochen eingebohrte KIRSCHNER-Drahtstifte anspannen. Nach WITTMOSER kann an den Spannringen durch Schraubspindeln eine Druckwirkung in Längs- und Querrichtung erzeugt werden.

Die Federosteosynthese nach MAATZ ist zur Behandlung von Tibiafrakturen nicht geeignet (HAUBERG, MAATZ).

L. BÖHLER, JONASCH und FRANK u. KISSLER erlauben neben der lockeren Drahtnaht beim Unterschenkeldrehbruch eine Versorgung mit dem Markdraht, der eine seitliche Abweichung der Bruchstücke um mehr als Schaftbreite verhindert und eine Annäherung der Bruchstücke bei eintretender Resorption erlaubt.

6. Halboperative Behandlung des Unterschenkeldrehbruches.

Perkutane KIRSCHNER-Drahtfixation des Unterschenkeldrehbruches.

BRUCKNER und HÜBNER empfehlen bei Drehbrüchen eine perkutane KIRSCHNER-Drahtfixation, vor allem bei nach der Reposition eingetretener Stellungsverschlechterung. Die Drähte sollen nur für die Dauer der Gipsbehandlung liegen bleiben. Nach BRUCKNER sind bei dieser Behandlungsmethode Störungen nicht zu befürchten.

BLOCK u. STRELLI befürworten ebenfalls beim reponierten Unterschenkeldrehbruch eine perkutane Drahtfixation. Nach Auffassung der Autoren ist es von besonderem Vorteil, daß eine Periostablösung vermieden und nur eine winzige Einstichwunde gesetzt wird. Es ist nachgewiesen, daß der Bohrkanal sich innerhalb der Weichteile fibrös abkapselt und im Markraum durch Kallus abgeriegelt wird (BLOCK), so daß bei der vorgeschlagenen Methode eine größere Infektionsgefahr als bei der Dauerdrahtextension nicht besteht. Nach BLOCK u. STRELLI müssen mindestens zwei Drähte winklig zueinander eingebohrt und anschließend abgebogen werden, um Muskelzug, Abscherkräfte und Hebelwirkung auszuschalten; danach muß Ruhigstellung im Gipsverband erfolgen. BLOCK berichtet über 23 Unterschenkelschaftfrakturen, die störungsfrei mit gutem Resultat ausheilten. BLOCK führt allerdings eine perkutane Drahtfixation nur dann aus, wenn innerhalb von 12 Tagen bei konservativer Behandlung eine Stellungsverschlechterung eintritt.

Das Transfixationsverfahren.

BÜRKLE DE LA CAMP, MATZEN; MAURER u. LECHNER; MILTON, COHEN u. MOWER berichten über gute Erfahrungen bei der Behandlung des Unterschenkeldrehbruches mit dem Doppeldrahtgips (Transfixation). Bei diesem Verfahren wird je ein KIRSCHNER-Draht oder STEINMANN-Nagel durch Tibiakopf und Fersenbein gelegt. Nach Einrichtung der Fraktur erfolgt Fixation im Gipsverband in leichter Kniebeugstellung.

Die genannten Autoren bezeichnen dieses Verfahren als vorteilhaft, weil geschlossen eine ideale Reposition erreicht werden kann.

MILTON, COHEN u. MOWER haben 820 Unterschenkelfrakturen nach dem Transfixationsverfahren behandelt und weniger als 0,6 % Pseudarthrosen verzeichnet, obwohl durchschnittlich nach 13 Tagen belastet wurde und Entlassung aus der stationären Behandlung nach 21 Tagen erfolgte.

BÜRKLE DE LA CAMP lehnt beim Doppeldrahtgipsverfahren eine frühzeitige Belastung im Gehgipsverband ab.

Andere halboperative Verfahren.

BERGERMANN und WUSTMANN berichten über die perkutane frakturferne Kompressionsbehandlung geschlossener und offener Unterschenkeldrehbrüche. Nach WUSTMANN ist bei diesem Verfahren von Vorteil, daß die Druckkräfte reguliert werden und die Bruchenden bei eintretender Nekrose aneinander rücken. Nach BERGERMANN wird außerdem das Periost geschont und eine Infektion vermieden. WUSTMANN fixiert mit KIRSCHNER-Drähten, die im Doppeldrahtspannbügel gespannt werden; BERGERMANN verwendet Gewindedrähte mit Spannvorrichtung und übersieht ausgezeichnete Resultate bei 21 Unterschenkelfrakturen.

Da nach KRANEPUHL die Schrägfrakturen des distalen Unterschenkeldrittels in ihrem Heilverlauf unberechenbar sind und am Unterschenkel grundsätzlich eine ideale Stellung erzielt werden muß, schlägt KRANEPUHL eine Frakturenfixation durch KIRSCHNER-Drähte vor, die proximal und distal der Fraktur und möglichst senkrecht zur Frakturebene eingebohrt werden. Nach KRANEPUHL entfiel auf 42 Fälle nur einmal ein schlechtes Ergebnis.

HOFFMANN empfiehlt beim Unterschenkeldrehbruch Anwendung des doppelten Ossiduktes bei gleichzeitiger Fixation durch eine Gipsmanschette.

IV. KRITISCHE STELLUNGNAHME ZU DEN WICHTIGSTEN BEHANDLUNGSVERFAHREN DES UNTERSCHENKELDREHBRUCHES UND KASUISTIK.

A. Kritische Stellungnahme zu den Behandlungsverfahren.

1. Stellungnahme zur konservativen Behandlung.

Erfahrungsgemäß kann bei konservativer Behandlung in der Fixationsperiode des Unterschenkeldrehbruches eine nachträgliche Verdrehung des distalen Tibiafragmentes mit gleichzeitiger Verkürzung und Seitenverschiebung eintreten. Die rotatorische Fehlstellung verläuft dabei ausnahmslos in der Drehrichtung des Bruches und steht in einem proportionalen Verhältnis zur Verkürzung und Seitenverschiebung.

L. BÖHLER, BÖTTGER, BRANDT; BRUCK u. MOSER; BÜRKLE DE LA CAMP; EGGELING, PANZNER u. HÜBNER; FREY, GSCHWEND, HÄBLER, HELLNER, JACKSON, JANIK, JONASCH, M. LANGE, LEIMBACH, LENTZ, LUNGMUSS, MAATZ, NONNEMANN, E. REHN, ROSENFELD, SCHAUTZ, TILMANN, USADEL, WATSON-JONES und WEBER vermuten, daß die Sperrwirkung des Wadenbeines, die Schraubenform der steilen Bruchflächen und der Einfluß des Muskelzuges, der Weichteilabmagerung und der Lagerung auf der Extensionsschiene als Hauptursache für derartige Fehlstellungen verantwortlich sind. Verkürzung, Seitenverschiebung und Verdrehung werden besonders bei frühzeitiger Belastung im Gipsverband durch die Bruchflächenform erheblich begünstigt, während beim Querbruch gerade durch Belastung eine günstige biomechanische Wirkung erzielt wird. An der schrägen Ebene des Unterschenkeldrehbruches greifen aber überwiegend Scherkräfte an und führen Verkürzung und Seitenverschiebung herbei (BRUCK u. MOSER; BÜRKLE DE LA CAMP, LENTZ, MAATZ, NONNEMANN, SCHAUTZ, USADEL). Bei der reinen Extensionsbehandlung besteht außerdem die Gefahr einer Distraction; eine zu geringe Extension neutralisiert die Muskelkräfte ungenügend und begünstigt Verkürzungs- und auch Verdrehungsneigung der Fragmente (BRANDT, BÜRKLE DE

LA CAMP; BRUCK u. MOSER; JANIK, LENTZ, MAATZ, SCHAUTZ, TILMANN).

Nach unseren Erfahrungen kann auch ohne Belastung bei ausschließlicher Behandlung des Unterschenkeldrehbruches mit dem Liegegips eine nachträgliche Dislokation eintreten. Die Ursachen dieser Fehlstellungen müssen deshalb erkannt und bei der Behandlung des Unterschenkeldrehbruches ausgeschaltet werden.

Verkürzung und Seitenverschiebung am reponierten Unterschenkeldrehbruch bei konservativer Behandlung.

Die topografische Anatomie der unteren Extremität wird in der Literatur wie folgt dargestellt (BENNINGHOFF u. GOERTTLER; BRAUS, CHAPCHAL, HAFFERL, MUMENTHALER, PERNKOPF; SOBOTTA u. BECHER; SPALTEHOLZ u. SPANNER; TOLDT u. HOCHSTETTER; VON LANZ u. WACHSMUTH; WALDEYER):

An der Streckseite des Unterschenkels liegen nur zwei Muskelgruppen: Proximal setzen die zweigelenkigen Kniestrecker und Hüftbeuger am Lig. patellae mit einer Arbeitsleistung von 143 mkg an; fibular-distal entspringen die eingelenkigen Fußheber und Zehenextensoren mit 4,2 bis 4,5 mkg Arbeitsleistung. Die vordere und tibiale Kante der Tibia ist größtenteils nicht von Muskulatur bedeckt (E. REHN).

An der Beugeseite bestehen drei Muskelgruppen: Die zweigelenkige Bizepsgruppe geht vom proximalen Oberschenkelabschnitt aus und setzt im proximalen Unterschenkeldrittel an (45,7 mkg); die ein- und zweigelenkige Beugegruppe mit 18,5 mkg Arbeitsleistung entspringt am distalen Abschnitt des Ober- und am proximalen Drittel des Unterschenkels und setzt distal am Unterschenkel an; außerdem wirken die dorsalen Pronatoren mit 4,8 mkg und die tibialen Fußrand- und Zehenmuskeln mit 9,3 mkg Leistung im Sinne der Plantarflexion ein.

Auf Grund dieser Muskelverhältnisse besteht am oberen Unterschenkelende ein Übergewicht der Streckmuskulatur mit kurzem Hebelarm und Ansatz am Lig. patellae. Unterhalb der Tuberositas tibiae liegt an den übrigen Unterschenkelab-

schnitten ein einseitiges Übergewicht der Beuger vor; an der Streckseite des Unterschenkels fehlt ein Antagonist zum *M. triceps surae*.

Nach JANIK besteht auch bei Ruhe immer ein reflektorisch unterhaltener und tonometrisch nachweisbarer Muskeltonus (BÜRKLE DE LA CAMP, E. REHN). Nach MAURATH, CHRIST u. KÖBLER wirken Muskelkräfte und -zuckungen während der Frakturheilung nicht stabilisierend, sondern besonders am Unterschenkel störend auf den Bruchspalt ein. Bei der Behandlung des Unterschenkeldrehbruches muß vor allem die ungleichmäßige Anordnung der Muskulatur berücksichtigt werden.

Bei der üblichen Extensions- und Gipsbehandlung des Unterschenkeldrehbruches wird im Allgemeinen eine Ruhigstellung in Streck- oder allenfalls leichter Beugstellung des Kniegelenkes und in rechtwinkliger Stellung des Sprunggelenkes vorgenommen. Diese Stellung entspricht im anatomischen Sinne der Normal- oder Ausgangslage. In dieser Lage sind die Kniegelenksstrecker ganz und die Fuß- und Zehenhebemuskulatur weitgehend entspannt, während die einseitig an der Beugeseite angeordneten, auf Knie- und Sprunggelenk einwirkenden Beugemuskeln voll angespannt bleiben. Die Beugemuskulatur kann deshalb mit voller Kraft auf die steilen Flächen des reponierten Unterschenkeldrehbruches einwirken und die Bruchstücke gegeneinander verschieben und verkürzen.

In Entspannungsstellung im anatomischen Sinne ist die Streck- und Beugemuskulatur gleichmäßig entspannt (L. BOHLER, PERNKOPF); die Entspannungsstellung des Kniegelenkes besteht bei leichter Beugung im Knie- und Hüftgelenk, diejenige des Sprunggelenkes bei geringer Spitzfußstellung. Bei der Extensionsbehandlung des Unterschenkeldrehbruches liegt aber eine dauernde Sicherung des Hüft- und Kniegelenkes gegen Streckung nicht vor; bei der reinen Gipsbehandlung ist eine Beckengipsfixation nicht üblich, sodaß die Einwirkung der Unterschenkelbeugemuskulatur auf andere Weise ausgeschaltet werden muß.

Die Mittelstellung des Kniegelenkes im anatomischen Sinne liegt bei halber Beugung und mittlerer Drehstellung vor. In dieser Stellung ist die einseitig einwirkende kräftige Unterschenkelbeugemuskulatur zuverlässig ausgeschaltet, auch wenn bei der konservativen Behandlung auf eine Fixation des Hüftgelenkes verzichtet wird. Die Mittelstellung des Kniegelenkes besteht bei einer Kniebeugung von 100° und wird auch von GELBKE, M.E. MÜLLER und RUSH für die Behandlung von Unterschenkelfrakturen vorgeschlagen. Eine zusätzliche Einstellung des Fußes in mäßige Plantarflexion entspannt die Unterschenkelbeugemuskulatur und erlaubt eine Reduzierung des Kniebeugewinkels.

Rotatorische Fehlstellung des reponierten Unterschenkel-drehbruches bei konservativer Behandlung.

Nach der Reposition des Unterschenkel-drehbruches ist bei konservativer Weiterbehandlung eine oft erhebliche Fehlstellung des distalen Fragmentes im Sinne der Einwärtsdrehung festzustellen. Das Ausmaß der Innenrotationsfehlstellung ist beim Drehbruch meist wesentlich größer, als es bei oberflächlicher Betrachtung zunächst erscheint, weil im distalen Tibiaabschnitt normalerweise eine Außenrotation besteht und die posttraumatische Einwärtsverdrehung beim Stehen durch eine entsprechende Bewegung im Hüftgelenk ausgeglichen wird (Abb. 1).

Nach Literaturangaben werden besonders Bruchform, Muskelzug und Lagerung auf der Extensionsschiene als Hauptgrund für die Rotationsfehlstellung angesehen. Allerdings ergibt die topografische Anatomie der unteren Extremität weitere Ursachen für das Auftreten der Verdrehung des distalen Fragmentes.

Bei gestrecktem oder gebeugtem Kniegelenk können infolge Anspannung der Seiten- und teilweise auch der Kreuzbänder im Kniegelenk keine Drehbewegungen ausgeführt werden, so daß proximal an Oberschenkel und Hüftgelenk wirksame rotatorische Kräfte über den Kniebandapparat voll auf den Unterschenkel übertragen werden.

Wie tonometrische Untersuchungen ergeben haben, überwiegen

am Oberschenkel auf das Hüftgelenk außendrehend einwirkende Muskelkräfte. Das Arbeitsvermögen der Hüftaußendreher wird in der Literatur bis zu dreimal so hoch wie die Leistung der Innendreher eingeschätzt. Hüftinnendreher im anatomischen Sinne liegen nicht vor, sodaß die Innendrehung von Hilfsmuskulatur ausgeführt werden muß. Das Arbeitsvermögen der Außendreher wird aber durch Beugung des Hüftgelenkes reduziert, gleichzeitig wird die Arbeitsleistung der innendrehenden Hilfsmuskulatur bei Abduktions- und Beugstellung durch Dehnung gesteigert.

Auf Grund der anatomischen Lageverhältnisse von Hüftgelenk und Oberschenkel ergeben sich zusätzlich außendrehende Momente. Der Winkel zwischen der queren Knieachse und dem Femurschaft beträgt nach M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLEN-EGGER durchschnittlich 81° . Die Traglinie der unteren Extremität verläuft durch die Mittelpunkte des Hüft-, Knie- und Sprunggelenkes. Die Traglinie im anatomischen Sinne entspricht gleichzeitig der Kreiselungsachse des Beines, sodaß Schenkelhals und Femurschaft lateral und damit außerhalb der Traglinie und Kreiselungsachse liegen. Die Massen des Oberschenkels sind ebenfalls vorwiegend lateral und dorsal der Kreiselungsachse angeordnet und wirken deshalb in Verbindung mit der exzentrischen Lage des proximalen Femurendes auf Grund der Schwerkraft im Sinne der Außendrehung.

Außerdem tendiert das Hüftgelenk dazu, aus der Ausgangsstellung in Entlastungsstellung überzugehen, weil bei der Ausgangsstellung in Streckung und geringer Außenrotation die Hüftgelenksbänder angespannt sind. Die Entlastungsstellung im anatomischen Sinne liegt bei leichter Beugung, Außenrotation und Abduktion vor; in dieser Stellung stehen die Mittelpunkte von Hüftpfanne und Femurkopf auf Grund der normalen Antetorsion einander gegenüber; außerdem sind Gelenkkapsel und Kapselbänder entspannt. Die Neigung zum Übergang in Entlastungsstellung bedeutet aber eine Verstärkung der außendrehenden Momente.

Insgesamt ist am Oberschenkel ein ausgesprochenes Übergewicht derjenigen Kräfte zu verzeichnen, die im Sinne der

Außendrehung einwirken und deshalb bei der Behandlung des Unterschenkeldrehbruches nicht übersehen werden dürfen.

Für die konservative Behandlung des Unterschenkeldrehbruches ergeben sich auf Grund der topografischen Verhältnisse folgende Gesichtspunkte:

Bei der Fixation des Drehbruches mit gestrecktem oder höchstens angebeugtem Kniegelenk im Streck- oder Gipsverband in Ausgangsstellung des Hüftgelenkes können über den angespannten Kniebandapparat verdrehende Kräfte übertragen werden. Diese Kräfte können das proximale Fragment des Unterschenkeldrehbruches entsprechend dem Übergewicht der außendrehend wirksamen Momente und der Bruchrichtung zwangsläufig nur nach außen verdrehen, sodaß das distale Tibiafragment im Verhältnis zur Beinachse eine relative Innenrotationsstellung einnimmt. Eine Verdrehung ist besonders dann zu erwarten, wenn der Gipsverband infolge Abschwellung und Abmagerung nur noch ungenügend anliegt und die im Gehgipsverband behinderte Fußrollung zusätzlich durch Außendrehung im Hüftgelenk ersetzt wird.

Die Verdrehung der Drehbruchfragmente könnte am Unterschenkel nur durch eine Ruhigstellung im Beckengipsverband in Entlastungsstellung des Hüftgelenkes ausgeschlossen werden. Da beim Unterschenkeldrehbruch eine derart weitgehende Fixation vermieden werden sollte, müssen die von Hüftgelenk und Oberschenkel ausgehenden, am Unterschenkel nach außen verdrehenden Kräfte möglichst ausgeschlossen werden.

Bei zunehmender Beugung des Kniegelenkes tritt eine weitgehende Entspannung der Seitenbänder ein; nur die Kreuzbänder und das tibiale Seitenband bleiben leicht angespannt. Die Drehbewegungen des Kniegelenkes werden in Abhängigkeit von der Beugestellung freigegeben und finden im tibialen Gebiet der Schienbeinpfanne statt. Der bei der Kniebeugung entspannte Bandapparat verhindert eine Übertragung der außendrehenden Kräfte vom Ober- auf den Unterschenkel. Allerdings ergibt sich jetzt die Frage, ob bei der vorgeschlagenen Fixation des Drehbruches in mittlerer Beugung des Kniegelenkes eine ausreichende Sicherung des

proximalen Fragmentes gegen Verdrehung vorliegt.

Die Innendrehung des Unterschenkels ist bei gebeugtem Kniegelenk höchstens um 10° möglich und wird durch Anspannung der Seiten- und teilweise auch der Kreuzbänder gehemmt, die sich umeinander rollen. Neben dem M. popliteus als reinem Innendreher wirken bei der Innendrehung Hilfsmuskeln mit einer Gesamtarbeitskraft von 6,0 mkg mit. Die Innendreher arbeiten aber am kürzeren Hebelarm, weil die Drehachse durch den tibialen Gelenkanteil verläuft und die volle Arbeitskraft der Innendreher erst nach der Dehnung durch ihre Antagonisten angreifen kann.

Die Außendrehung des Unterschenkels kann um 32 bis 52° ausgeführt werden; bei rechtwinkliger Beugung des Kniegelenkes beträgt sie 42° (VON LANZ u. WACHSMUTH). Bei der Außendrehung rollen die Kreuzbänder sich ab; die Hemmung wird durch die Seitenbänder vorgenommen. Da am Unterschenkel außendrehende Muskeln im anatomischen Sinne fehlen, muß die Außendrehung durch Hilfsmuskulatur mit einer gesamten Arbeitsleistung von 5,5 mkg ausgeführt werden. Die etwas unterlegene Leistung der Außendreher wird allerdings durch die ausgeprägtere Bandhemmung der Innendrehung und die schnellere Erschöpfung der Innendreher auf Grund des kürzeren Hebelarmes mehr als kompensiert, sodaß die Innendreher bei unbewußter Innervation zwar die rotatorische Mittelstellung des Kniegelenkes anstreben, die Gleichgewichtslage (PERNKOPF) wahrscheinlich aber nicht herstellen oder halten können.

Auf Grund der anatomischen Verhältnisse liegt deshalb eine zuverlässige rotatorische Sicherung des längeren proximalen Fragmentes nicht vor, wenn der Unterschenkelbruch bei gebeugtem Kniegelenk im Gipsverband fixiert wird. Das distale kürzere Fragment kann sich nicht verdrehen, weil bei der Behandlung des Unterschenkelbruches mit dem Streck- oder Gipsverband Knöchelgegend und Fuß fixiert sind. Die Gefahr einer Rotationsfehlstellung nach der Reposition ist aber bei Ruhigstellung mit stark gebeugtem Kniegelenk beim Unterschenkelbruch wesentlich geringer als bei Kniestreckstellung.

Zusammenfassung.

Der zweite Grundsatz L. BÖHLERS lautet: Die eingerichteten Bruchstücke müssen so lange ununterbrochen in guter Stellung fixiert werden, bis Heilung eingetreten ist.

Auf Grund der anatomischen Verhältnisse ist diese Forderung beim reponierten Unterschenkeldrehbruch mit der üblichen Extensions- oder Gipsbehandlung nicht immer zu erfüllen; in der Literatur wird über nachträgliche Fehlstellungen berichtet, die mit unseren Erfahrungen übereinstimmen. Hauptursache dieser Fehlstellungen sind Bruchflächenform und überwiegende außendrehende Kräfte an Hüftgelenk und Oberschenkel.

Der zweite Grundsatz L. BÖHLERS muß deshalb für die konservative Behandlung erweitert werden: Der gut reponierte Unterschenkeldrehbruch muß bis zur Ausheilung fixiert werden, wobei verkürzend und seitenverschiebend einwirkende Kräfte ausgeschaltet werden; eine rotatorische Sicherung der schraubenförmig steilen Fragmente muß besonders gewährleistet sein.

Bei der vorgeschlagenen Fixation des Unterschenkeldrehbruches in einer Kniebeugestellung bei 100° und mäßiger Spitzfußstellung sind die Bedingungen für eine Retention wesentlich günstiger als bei der üblichen Art der Ruhigstellung. Trotzdem besteht auf Grund der Bruchform und der anatomischen Verhältnisse die Möglichkeit einer nachträglichen Abweichung im Sinne der Verdrehung. Es wird deshalb vorgeschlagen, nur nicht dislozierte Drehbrüche in der vorgetragenen Stellung im Gipsverband zu fixieren; eine sorgfältige Beobachtung der Fragmentstellung ist in jedem Falle erforderlich.

2. Stellungnahme zur Marknagelung des Unterschenkeldrehbruches.

Nach KÜNTSCHER können alle Frakturen genagelt werden, bei denen nach Lage und Form mit dem Marknagel eine stabile Osteosynthese zu erreichen ist; unter diesen Voraussetzungen erlaubt die Marknagelung eine primäre Heilung mit

Bildung eines kleinen inneren und äußeren Randwulstes.

Nach MAURATH, CHRIST u. KÖBLER reicht der Marknagel am Unterschenkelbruch nur zur begrenzten Übertragung von Torsionsmomenten und damit nur zur Übungsstabilität aus; ALLGÖWER, L. BÖHLER, MAATZ, MARTY; MAURER u. LECHNER; M.E. MÜLLER, ALLGÖWER u. WILLENEGGER; MUMENTHALER, J. REHN, SCHNEIDER; SCHUMPELICK u. JANTZEN; VOGT und WEBER berichten in neueren Arbeiten über Rotationsfehlstellungen an Unterschenkeldrehbrüchen nach Marknagelung.

Ursache der Fehlstellungen nach Marknagelung des Unterschenkeldrehbruches.

Der Tibiaschaft bildet im oberen und mittleren Drittel einen regelmäßigen, dreikantig-prismatischen Querschnitt. Im unteren Drittel ist die Tibia gemuldet, ihr Markraum nimmt Trompetenform an. Außerdem zeigt die Tibia hier eine leichte S-Form, die proximal konvex nach tibial, distal konvex nach fibular gerichtet ist. In Höhe der Querschnitts- und der Krümmungsänderung am Übergang vom mittleren zum unteren Drittel besteht der geringste Querschnitt des Tibiaschaftes und damit seine geringste Widerstandskraft, während oberhalb des Überganges eine außerordentlich kräftige Kortikalis mit 5 bis 10 mm Wandstärke und verhältnismäßig schwacher Spongiosaauskleidung vorliegt. Außerdem zeigt die Tibia in ihrem unteren Drittel eine Verwindung im Sinne der Außendrehung, sodaß die Querachse des oberen Sprunggelenkes gegenüber der Kniegelenksquerachse um 15 bis 20° nach außen verdreht ist (BENNINGHOFF u. GOERTTLER, BRAUS, GREIFFENSTEINER, HAFFERL, KÜNTSCHER, MEIER-STAUFFER, PERNKOPF, THOMSON; SPALTEHOLZ u. SPANNER; VON LANZ u. WACHSMUTH).

Nach den Anweisungen von KÜNTSCHER ist bei der Marknagelung des Unterschenkeldrehbruches ein genügend dicker Nagel zu verwenden, damit eine elastische Verklebung zwischen Knochen und Metall erreicht wird. Da der Unterschenkeldrehbruch überwiegend an der engsten Stelle der Tibia liegt, ist nach KÜNTSCHER der Markraum in ganzer Länge über dem Führungsspieß aufzubohren, um Platz für einen

genügend dicken Nagel zu schaffen; vor dem Aufbohren soll die Verkürzung genau ausgeglichen werden, weil sonst die Verengung des Markraumes zur Verklebung von Bohrer und Nagel führt. Ein sehr distaler Unterschenkeldrehbruch kann jedoch nach KÜNTSCHER nicht ohne Schwierigkeiten genagelt werden.

Beim sachgerecht, mit Aufbohrung und genügend dickem Nagel versorgten Unterschenkeldrehbruch ist nach KÜNTSCHER eine nachträgliche Verdrehung nicht möglich, weil automatisch durch den schrägen Bruchspalt eine richtige Drehstellung erzwungen wird. Die Ausführungen KÜNTSCHERS wurden am Modell nachgeprüft: Unter der Voraussetzung, daß der Marknagel dem Tibiamarkraum in ganzer Länge schlüssig verklemt anliegt, sind die Fragmente des Drehbruches zuverlässig gegen Verdrehung gesichert.

Eine Verdrehung des proximalen Fragmentes nach außen oder des distalen Fragmentes nach innen entsprechend der Schraubenrichtung der Fraktur kann nur unter Verkürzung und Seitenverschiebung der Bruchstücke eintreten; die Verdrehung wird jedoch vom sachgerecht eingeführten Marknagel verhindert.

Verdrehungen des proximalen Fragmentes nach innen oder des distalen Fragmentes nach außen entgegen der Schraubenform der Fraktur werden durch exakte Marknagelung ebenfalls ausgeschlossen, es sei denn, daß durch Distraction eine Verlängerung eintritt oder eine Drehachse in Form eines zu dünnen Nagels vorliegt. Unter Druck kann aber eine geringe Verschiebung entlang der schrägen Bruchebene eintreten, bis die Kortikalis des distalen Fragmentes am Nagel anstößt (KÜNTSCHER); allerdings ist nach den Beobachtungen am Modell eine geringe Verdrehung des distalen Fragmentes nach innen besonders dann möglich, wenn vorher eine geringe nagelungsbedingte Distraction des Bruchspaltes eintrat.

Bei sachgerechter Marknagelung mit Aufbohrung und Verwendung eines genügend dicken Nagels ist eine nachträgliche Fehlstellung von Drehbrüchen nicht zu befürchten.

Es ergibt sich jedoch die Frage, ob beim Unterschenkel-

drehbruch immer eine sachgerechte Marknagelung mit Aufbohrung des Markraumes in ganzer Länge und Einführen eines genügend dicken Nagels im Sinne einer stabilen Osteosynthese erreicht werden kann. Das Hauptproblem liegt in der Schwierigkeit, geschlossen eine ideale anatomische Reposition zu erreichen, in der Gefahr, beim Aufbohren und Nageln eine Distraction zu erzeugen, und nicht zuletzt in der trompetenförmigen Erweiterung des distalen Tibiamarkraumes.

BLOCK, FEHR, FORSSMANN, GEISER, HAUCK, JANIK, KÖNIG, KÜNTSCHER, LUNG MUSS, MATZEN, MÖRL, SCHWARZ, STRELLI und VIERNSTEIN u. TÄGER sowie WITT berichten über Weichteilinterpositionen beim Unterschenkel-drehbruch, die von den Autoren entweder als wesentliches Repositionshindernis oder als Hauptursache einer verzögerten Frakturheilung betrachtet werden. Weitere Repositionshindernisse bilden nach L. BÖHLER und JANIK der Widerstand der kontrahierten Muskulatur und nach HAUCK, JANIK und STUCKE u. STOLLMANN die in die Weichteile eingespießten langen Fragmentenden. Nach KÜNTSCHER ist deshalb vor Aufbohrung und Marknagelung des Unterschenkel-drehbruches ein genauer Ausgleich der Verkürzung erforderlich, weil sonst eine Verengung des Markraumes eintritt. Verkürzungen und Achsknickungen können nach FEHR und HAUCK beim Unterschenkel-drehbruch gut beseitigt werden. Es genügt aber nicht, nur die eingetretene Verkürzung auszugleichen, während Seitenverschiebungen und Drehfehlstellungen mehr oder weniger ausgeprägt verbleiben. Besonders bei einer seitlichen Verschiebung der Drehbruchfragmente besteht eine Verengung des Markraumes, weil hierbei die laterale Kortikalis des unteren Fragmentes fast unter der medialen Kortikalis des oberen steht und der Markraum für Bohrer und Nagel nicht durchgängig ist. Da nach Auffassung von FEHR und HAUCK interpositionsbedingte seitliche Verschiebungen und Verdrehungen durch eine verstärkte Extension nicht beseitigt werden können, wird man bei der Marknagelung besonders des steilen Unterschenkel-drehbruches oft gezwungen sein, unter Verzicht auf den Vorteil des geschlossenen Vorgehens

(KÜNTSCHER) eine offene Reposition und erst anschließend Aufbohrung und Nagelung vorzunehmen.

Wenn trotzdem eine geschlossene anatomische Reposition des Unterschenkelrehbruches gelingt, sind sachgerechte Aufbohrung und Nagelung der Tibia nicht ohne besondere Schwierigkeiten auszuführen. Der Drehbruch liegt nach Literaturangaben in der weitaus größten Zahl der Fälle an der engsten Stelle der Tibia. Um Formschlüssigkeit zwischen Nagel und Tibiamarkraum zu erreichen, ist nach den Anweisungen KÜNTSCHERS die Markraumenge am Übergang vom mittleren zum unteren Drittel aufzubohren. Da beim Unterschenkelrehbruch meist eine sehr steile schraubenförmige Bruchebene vorliegt, besteht jedoch Gefahr, daß der Bohrer nach dem Verlassen des oberen Markraumes das distale Fragment auf Grund seiner steilen Fläche zur Seite hin abdrängt und den distalen Markraum nicht zentral trifft; die Nagelspitze wandert aus, verklemmt sich oder führt zumindest zu einer Distraction der Fragmente oder zu einer Sprengung des distalen Fragmentes. Man wird in solchen Fällen auch bei geschlossen erreichter Reposition des Drehbruches gezwungen sein, die Frakturstelle zu eröffnen, um das Repositionsergebnis während des Aufbohrens zu halten.

Eine weitere Ursache für Fehlergebnisse nach Marknagelung von Unterschenkelrehbrüchen ist die trompetenförmige Erweiterung des distalen Tibiamarkraumes. Nach KÜNTSCHER muß der Nagel bei sachgerechtem Vorgehen in voller Länge dem Markraum schlüssig anliegen, sodaß der Markkanal des oberen und mittleren Tibiadrittels eigentlich auf den Querschnitt des distalen Fragmentes aufgebohrt werden müßte. Dies ist jedoch nicht möglich, weil eine Aufbohrung des gesamten Tibiamarkraumes auf den Querschnitt des distalen Endes eine nicht vertretbare Querschnittsschwächung besonders des Übergangsbereiches bedeuten würde. In der Praxis kann der Markraum der Tibiaenge höchstens auf den Querschnitt des oberen und mittleren Drittels aufgebohrt werden. Bei der anschließenden Nagelung besteht eine elastische Verklemmung nur im mittleren und oberen

Drittel, während das untere Nagelende im erweiterten Markraum der distalen Tibiametaphyse (KOCH u. KEMPTER, WEBER) auch beim Einschlagen bis knapp oberhalb des Sprunggelenkes Drehbewegungen und Achsknickungen nicht verhindern kann.

Eine bessere rotatorische Sicherung des distalen Fragments besteht bei Verwendung des Nagels mit Ausklinkdrähten nach HERZOG. Allerdings erlaubt der Ausklinknagel nach den Beobachtungen von L. BÖHLER ebenfalls Drehbewegungen um mindestens 5 bis 10°, weil die Drähte rund sind und zwar in der Spongiosa des distalen Markraumes Halt finden, jedoch nicht im Nagel selbst. Außerdem ergibt der Ausklinknagel keine bessere Sicherung gegen nachträgliche Achsknickungen als der normale Unterschenkelnagel nach KÜNTSCHER.

Zusammenfassung.

Die Marknagelung hat ihre besonderen Vorzüge, wenn sie bei richtiger Indikation sachgerecht ausgeführt werden kann und in der Lage ist, am Frakturspalt scherende, biegende und besonders verdrehende Kräfte durch Ausschaltung zu vermeiden. Beim steilen Unterschenkeldrehbruch wird man nach der Marknagelung mit Fehlergebnissen rechnen müssen, weil eine sachgerechte Ausführung mit gleichmäßigem Aufbohren und Verwendung eines genügend dicken Nagels (KÜNTSCHER) nicht immer zu erreichen ist. Die Indikation zur Marknagelung des Unterschenkeldrehbruches muß deshalb sehr eng gefaßt werden; es sollten nur sehr kurze und nicht zu distale Unterschenkeldrehbrüche mit dem Marknagel versorgt werden.

3. Stellungnahme zur Drahtumschlingung des Drehbruches.

Die Cerclage ist das umstrittenste Verfahren zur Behandlung des Unterschenkeldrehbruches. Zahlreiche Autoren berichten über besonders gute Erfahrungen mit der straffen Drahtumschlingung beim Unterschenkeldrehbruch und geben genaue, allerdings unterschiedliche Anweisungen zur Indikation, Technik und Nachbehandlung. Auch die in der Lite-

ratur mitgeteilten Resultate nach straffer Drahtumschlingung des Drehbruches weichen sehr voneinander ab.

Mehrere Autoren beobachteten bei straffer Cerclage des Unterschenkelrehbruches verzögerte Heilungen und quere Pseudarthrosebildungen, besonders bei Drehkeilfrakturen. Aus diesem Grunde empfehlen vor allem L. BÖHLER und LEIMBACH nur die lockere Drahtnaht des Unterschenkelrehbruches, die eine ausreichende Stabilität ergebe.

Ursache der Fehlergebnisse nach straffer Drahtumschlingung.

Nach L. BÖHLER, LEIMBACH, MEIER-STAUFFER und SCHULTHEISS wird die nach Drahtumschlingung des Unterschenkelrehbruches gelegentlich beobachtete quere Pseudarthrose durch die Druckspannung des Drahtes oder durch eine zu straffe Umschlingung verursacht. WILLENEGGER führt die Pseudarthrosebildung auf zu frühe Belastung zurück, die für die Frakturheilung ungünstige Biegungs- und Scherkräfte auslöst. Andere Autoren beobachteten Pseudarthrosen und verzögerte Konsolidationen bei Drehkeilfrakturen und vermuten, daß die ungenügende Ernährung des Drehkeils verantwortlich ist. Die Befürworter der lockeren Drahtnaht führen die Störungen auf Periostabschnürung und behinderte Annäherungsmöglichkeit bei straffer Cerclage zurück; GEISER sieht in der straffen Drahtumschlingung des Drehbruches eine Behinderung der periostalen Kallusbildung, so daß die Fraktur endostal verzögert verheilen muß.

Die mitgeteilten Fehlergebnisse bei der straffen Drahtumschlingung des Unterschenkelrehbruches beruhen offensichtlich auf falschen Vorstellungen über die Leistungsfähigkeit des Verfahrens.

Nach Auffassung mehrerer Autoren ist die straffe Drahtumschlingung des Drehbruches eine absolut stabile Osteosynthese mit gleichmäßigem interfragmentärem Druck, sodaß fast immer eine Primärheilung der Fraktur eintritt. Nach anderen Literaturstellen handelt es sich um eine stabile Osteosynthese für die Dauer der Konsolidation; die meisten Autoren sehen in der straffen Drahtumschlingung nur eine Adaptionsosteosynthese im Sinne von M.E. MÜLLER oder

bestenfalls eine instabile Osteosynthese, die die Fragmentenden nach der Reposition einigermaßen stabil hält.

Im Allgemeinen aber besteht nach anatomischer Reposition und anschließender straffer Drahtumschlingung des Unterschenkeldrehbruchs nur gelegentlich eine absolut stabile Osteosynthese mit gleichmäßigem Druck; diese Faktoren sind bekanntlich Voraussetzung für eine angiogene Knochenbruchheilung im Sinne der neueren Literatur.

Bei der straffen Drahtumschlingung des Drehbruchs liegt auch bei einwandfreier Technik meist nur anfänglich eine sichere Stabilität vor. Im weiteren Verlauf kommt es erfahrungsgemäß auch bei exakter Reposition und primärer Stabilität auf Grund der geringen Fragmentendenresorption zu einer vorübergehenden Lockerung im Sinne der kritischen Erweichungsphase (FEHR, LEEMANN). Die Umbauvorgänge laufen vor allem an den vom Periost entblößten Stellen ab, bevorzugen aber die Knochenspitzen an den Enden des Drehbruchs (HÄBLER). Die Resorption der Kortikalisenden ist aber umso geringer, je genauer die Adaption (ANDERSON, WELLER) und je stabiler die Osteosynthese ist (FRIEDENBERG u. FRENCH). Im Allgemeinen heilt deshalb der straff cerclierte Unterschenkeldrehbruch unter nur mäßiger periostaler Kallusbildung aus, die dem Fixationskallus der indirekten Frakturheilung bei konservativer Behandlung entspricht (WIESER). Reizkallusbildung (L. BÖHLER) tritt nur gelegentlich auf; Reizkallus nach Drahtumschlingung ist ein Zeichen der unzureichenden Stabilität und Nachbehandlung (KÜNTSCHER, RINIKER und TRUETA u.a.), beweist allerdings auch, daß entgegen der Ansicht von L. BÖHLER, GEISER und KÜNTSCHER bei der straffen Cerclage die periostale Kallusbildung nicht unterbunden wird.

Aus diesen Erfahrungen heraus besteht bei der straffen Cerclage des Unterschenkeldrehbruchs die Forderung nach weitgehender Periostschonung und nach möglichst guter Reposition und Stabilität, außerdem die Frage nach der zweckmäßigen äußeren Fixation.

Die Drahtumschlingungen müssen grundsätzlich subperiostal angelegt werden, damit eine Störung der Knochendurch-

blutung und eine Beeinträchtigung der Regenerationspotenz des Periostes infolge Umschnürung ausgeschlossen ist. Eine Trennung des Periostes von der Muskulatur ist zu vermeiden, weil die erhaltene Verbindung für die Versorgung des Periostes erforderlich ist. Die subperiostale Cerclage bereitet im Allgemeinen keine wesentlichen Schwierigkeiten, weil das Periost durch Trauma und Hämatom meist auf weite Strecken zerrissen oder vom Knochen abgehoben wird. Nach der Drahtumschlingung muß das abgerissene Periost dem Frakturspalt sorgfältig angelegt werden; die gefährdeten Bruchenden sind besonders gut mit Periost zu bedecken.

Die Stabilität des cerclierten Unterschenkeldrehbruches ist von der Anzahl der Drahtumschlingungen abhängig, für deren gleichmäßige Anordnung genügend Platz vorhanden sein muß; die Stabilität steht in Zusammenhang mit der Länge des Drehbruches. Beim kurzen Unterschenkeldrehbruch können genügend Umschlingungen nicht angebracht werden, sodaß die erreichte Stabilität unzureichend ist und allenfalls eine mehr oder weniger genaue Adaption mit Verdrehungsgefahr vorliegt. Da die Cerclage beim kurzen Unterschenkeldrehbruch auch seitliche Bewegungen nicht verhindert, ist nach Ansicht von HÄBLER eine Marknagelung indiziert.

Beim langen Unterschenkeldrehbruch besteht nach exakter Reposition zunächst eine gute Stabilität, weil er mit mindestens zwei Drahtumschlingungen versorgt werden kann; die Umschlingungen müssen weit genug von den gefährdeten Fragmentenden entfernt liegen. Eine Verbesserung der Stabilität wird durch einfaches Umbiegen der Drahtenden nach dem Vorschlag von LEEMANN erreicht; die umgebogenen Drahtenden sollen lateral der Tibiavorderkante unter das Weichteilpolster kommen. Einfach miteinander verdrehte Drahtenden neigen nach LEEMANN zur vorzeitigen Lockerung oder Sprengung.

Da beim Unterschenkeldrehbruch trotz sachgerechter Cerclage nur anfänglich eine stabile Osteosynthese besteht, kann auf eine äußere Fixation im Gipsverband nicht ver-

richtet werden. Nach Literaturangaben wird im Allgemeinen eine Ruhigstellung im Oberschenkelgipsverband vorgeschlagen und nach Ablauf einiger Wochen Belastung im Gehgipsverband gestattet.

Nach unseren Erfahrungen ist nach der Drahtumschlingung des Unterschenkeldrehbruches auch bei anfänglicher Stabilität eine Liegegipsbehandlung im Oberschenkelgipsverband bis zur Konsolidation aus folgenden Gründen unumgänglich:

Nach Ablauf einiger Wochen treten auch beim cerclierten Drehbruch resorptionsbedingte geringe Drahttringlockerungen ein, sodaß verkürzende, seitenverschiebende und verdrehende Kräfte die Konsolidation stören können. Diese Kräfte werden durch die Drahtumschlingungen entgegen der früheren Auffassung von USADEL und WITT auf Grund der zwangsläufigen Fragmentendenresorption nicht in ständig nützliche Druckkräfte umgewandelt. Die möglichen Störungen sind umso erheblicher, wenn eine geeignete Ruhigstellung unterlassen und eine vorzeitige Belastung im Gehgipsverband nicht vermieden wird. Allerdings sind die Störungsfolgen nicht so schwerwiegend wie bei der konservativen Behandlung des Unterschenkeldrehbruches, weil auch lockere Drahtumschlingungen selbst bei ungeeigneter äußerer Fixation noch einen gewissen Halt geben und bezüglich ihrer Stabilität zumindest der von L. BÖHLER vorgeschlagenen lockeren Drahtnaht entsprechen würden.

Wegen der mit Sicherheit eintretenden geringen Drahttringlockerung ist aber eine zweckmäßige Ruhigstellung des cerclierten Unterschenkeldrehbruches erforderlich, die nur bei Fixation im Oberschenkelgipsverband in Kniebeugstellung von 100° und leichter Spitzfußstellung vorliegt. Wie bei der Besprechung der konservativen Behandlung bereits herausgestellt wurde, sind in der vorgeschlagenen Stellung seitenverschiebende und verkürzende Kräfte am Drehbruch ausgeschaltet; gleichzeitig werden am Oberschenkel außen-drehend einwirkende Momente nicht mehr auf den Unterschenkel übertragen. Nur am proximalen Fragment des Drehbruches besteht noch eine Verdrehungsmöglichkeit, die aber

durch die Drahtumschlingungen anfangs sicher ausgeschlossen ist und nach Eintritt der Fragmentendenresorption noch ziemlich sicher verhindert wird, wenn eine ununterbrochene zuverlässige Ruhigstellung vorliegt. Aus diesem Grunde kann entgegen den Vorschlägen in der Literatur eine Belastung des cerclierten Unterschenkelrehbruches besonders während des kritischen Stadiums nicht gestattet werden.

Bei der Behandlung des Unterschenkelrehbruches besteht außerdem das Problem der Fibula als Sperrknochen; in der Literatur liegen zahlreiche Hinweise auf die Sperrwirkung der Fibula als Ursache von Heilungsstörungen am konservativ oder operativ behandelten Unterschenkelrehbruch vor. Da die Fibula am Drehbruch neben der Sperrwirkung auch Pendelbewegungen auslöst, vor allem bei frühzeitiger Belastung im Gipsverband, sollte bei der Drahtumschlingung grundsätzlich eine schräge Fibulaosteotomie durchgeführt werden. Man kann nur dann auf eine Fibulaosteotomie verzichten, wenn die Fibula beim frischen Drehbruch um volle Schaftbreite verschoben ist oder wenn die Verkürzung der Tibia bei der Drahtumschlingung voll beseitigt werden kann.

Ursache von Fehlergebnissen nach lockerer Drahtnaht.

Von L. BÖHLER wird die lockere Drahtnaht des Unterschenkelrehbruches vorgeschlagen, weil sie eine ausreichende Stabilität ergibt und Seitenverschiebung, Periostabschnürung und Behinderung der periostalen Kallusbildung (GEISER) vermieden werden und trotzdem eine Fragmentannäherung bei der Resorption eintreten kann.

BECKER dagegen vertritt die Auffassung, daß eine Annäherung der Fragmentenden auch bei ursprünglich festen Drähten möglich ist, falls wirklich die Resorption in der von L. BÖHLER angegebenen Ausdehnung eintritt; die lockere Drahtnaht ist nach BECKER deshalb überflüssig.

Auch nach unserer Auffassung ergibt die lockere Drahtnaht Nachteile, weil mit ihr nur eine blutige Reposition des Unterschenkelrehbruches mit Unstabilität erreicht wird,

ohne daß die Fragmente wenigstens anfänglich zuverlässig fixiert sind. Bei ungenügender Stabilität und ungenauer Adaption ist das Ausmaß der Fragmentendenresorption größer (ANDERSON; FRIEDENBERG u. FRENCH; WELLER), sodaß die Drahtschlingen nach eingetretener Resorption noch lockerer als ursprünglich anliegen und auch bei Ruhigstellung im Oberschenkelgipsverband in der vorgeschlagenen Stellung keine zuverlässige Sicherung der Drehbruchfragmente gegen Verkürzung, Seitenverschiebung und Verdrehung besteht. Bei lockerer Drahtnaht ist allerdings die Gefahr einer nachträglichen Fehlstellung weniger groß als bei konservativer Behandlung.

Bei der lockeren Drahtnaht müssen die Drähte ebenfalls subperiostal angelegt werden, weil sie beim Zusammenrücken der beiden schrägen Fragmente auf Grund der Keilwirkung doch angespannt werden und bei extraperiostaler Lage eine Periostabschnürung mit Störung der periostalen Kallusbildung verursachen. Die Periostschädigung ist deshalb bei der lockeren Drahtnaht nicht geringer als bei der straffen Drahtumschlingung. Außerdem besteht nach den Erfahrungen von LEEMANN gerade bei der lockeren Drahtnaht des Unterschenkel Drehbruches nicht selten eine erhebliche Reizkallusbildung als Ausdruck der Unstabilität (KÜNTSCHER, RINIKER, TRUETA) und der mechanischen Irritation durch Fremdkörperreibung (LEEMANN).

Ursache von Fehlergebnissen nach subkutaner extraperiostaler Drahtumschlingung nach GOETZE.

KOCH u. KEMPTER empfehlen das Verfahren auf Grund guter Resultate, weil die Methode eine völlige Reposition des Unterschenkel Drehbruches gestattet, aber eine operative Freilegung der Bruchstelle vermieden wird.

Diese Auffassung trifft nur mit Einschränkung zu, weil bei dem Verfahren nach GOETZE die Gefahr einer Weichteileinklemmung und Periostabschnürung infolge extraperiostaler Lage des Drahtes besteht und eine schwerwiegende Ernährungsstörung des Knochens auslösen kann. Außerdem können die beim Unterschenkel Drehbruch nicht seltenen Weich-

teilinterpositionen nicht beseitigt werden, die ein wesentliches Repositionshindernis bilden. Die relativ kleine Einstichstelle bedeutet genau wie bei breiter Eröffnung eine Verbindung des Fraktursitus nach außen, eine Verminderung der Infektionshäufigkeit ist deshalb nicht zu erwarten. Auf Grund des kleinen Einstiches lassen die Drahtenden sich nicht unter die lateralen Weichteile versenken, eine Durchspießung des dünnen medialen Weichteilmantels ist deshalb nicht auszuschließen.

Zusammenfassung.

Die straffe Drahtumschlingung ist bei Beachtung strenger Asepsis, bei anatomischer Reposition und bei schonendem subperiostalen Vorgehen mit Beseitigung der Weichteilinterposition ein geeignetes Verfahren für die Behandlung des langen Unterschenkeldrehbruches, weil bei konservativer Behandlung trotz verbesserter Gipsverbandfixation auf Grund der Bruchform und der anatomischen Verhältnisse eine nachträgliche Dislokation des Drehbruches eintreten kann. Der kurze Unterschenkeldrehbruch kann nicht mit der straffen Cerclage behandelt werden. Die straffe Drahtumschlingung ermöglicht am langen Drehbruch eine exakte Adaption mit allerdings nur anfänglicher Stabilität, so daß zusätzlich eine Ruhigstellung im Oberschenkelgipsverband mit auf 100° gebeugtem Kniegelenk und mäßiger Spitzfußstellung erforderlich ist; eine Belastung im Gehgipsverband ist streng zu vermeiden.

Die lockere Drahtnaht ist nicht zu empfehlen, weil sie bei gleich großem blutigen Eingriff ohne Grund auf eine zuverlässige Adaption des Unterschenkeldrehbruches verzichtet und so eine größere Fragmentendenresorption begünstigt. Die zusätzliche Lockerung kann eine Störung der Frakturheilung durch Freigabe dislozierender Kräfte auslösen.

Die subkutane extraperiostale Drahtumschlingung ist abzulehnen, weil sie bei blindem Vorgehen Weichteil- und Periostabschnürungen verursachen kann; Weichteilinterpositionen werden nicht beseitigt, die Infektionsgefahr ist

nicht geringer als bei den offenen Verfahren.

4. Stellungnahme zur Behandlung mit dem AO-Verfahren.

Mit dem AO-Verfahren kann bei exakter Adaption, interfragmentärer Kompression und absoluter Stabilität unter Verzicht auf eine postoperative Fixation fast immer eine primäre Heilung erreicht werden; die Auswirkungen des Druckes auf die Osteogenese sind noch umstritten. Die Hauptindikation für das Verfahren mit Platten und Schrauben sind nach der Literatur die langen Unterschenkeldreh- und Schrägbrüche, auch Drehkeilfrakturen, sodaß anfänglich Übungs- und später Belastungsstabilität vorliegt.

Ursache von Fehlergebnissen beim AO-Verfahren.

WIESER u. ALLGÖWER beobachteten bei mangelnder Stabilität oder zu früher Belastung nach Anwendung des AO-Verfahrens eine Störung der Primärheilung mit Bruchspaltverbreiterung, Achsknickungen und Reizkallusbildung; bei Entlastung erfolgt Umwandlung in Fixationskallus, beim Auftreten von Aufhellungszonen besteht die Gefahr einer Pseudarthrose.

WIESER und HERFARTH u. FRANKE bemerkten auch bei völliger Stabilität aseptische Entzündungen mit negativem Erregernachweis, die auf eine Metallose (WIESER) oder auf eine mangelhafte Weichteilbedeckung der Platten an der medialen Tibiaseite zurückgeführt wurden (HERFARTH u. FRANKE). Andere Autoren bezeichnen den relativ großen Aufwand (MAURATH, CHRIST u. KÖBLER) und das weit offene Vorgehen (GELBKE) als Nachteil des AO-Verfahrens. Nach KÜNTSCHER kann das Periost bei der AO-Methode so geschädigt werden, daß bei ausbleibender Primärheilung selbst Reizkallus nicht mehr gebildet werden kann.

Bei der Behandlung des Unterschenkeldrehbruches mit dem AO-Verfahren ergibt sich deshalb die Forderung, eine möglichst absolut stabile Osteosynthese zu erreichen, eine vorzeitige Belastung zu vermeiden, aseptische Entzündungen auszuschließen und den Eingriff möglichst klein zu halten.

Mit dem AO-Verfahren kann beim Unterschenkeldrehbruch nur dann eine dauernde gute Stabilität erreicht werden, wenn nach möglichst fugenloser anatomischer Adaption (VITALLI) genügend lange Platten angebracht oder eine genügende Anzahl von Schrauben gegeneinander versetzt werden kann. Außerdem soll die Resorption der Kortikalisenden durch Unterdrucksetzung der Fragmente im Sinne der Vorspannung (ANDERSON) ausgeschlossen werden.

Bei der Behandlung des Unterschenkeldrehbruches mit der Verschraubung ist die zu erreichende Stabilität abhängig von der Länge der Bruchflächen. Beim langen und relativ langen Drehbruch lassen sich wie bei der Cerclage nach der Reposition genügend Schrauben anbringen, sodaß auch bei der Verschraubung eine gute Stabilität resultiert. Mit dem Schraubenverfahren kann aber beim langen Drehbruch eine dauernde, axiale Druckeinwirkung durch Vorspannung, wie sie von GREIFENSTEINER; GRUNDMANN u. LINKS; MATZEN, VITALLI und WITTMOSER verlangt wird, nicht immer erreicht werden; allenfalls besteht eine gewisse Druckeinwirkung in Richtung auf den Frakturspalt. Als Vorteil ist zu werten, daß nach den Untersuchungen von WAGNER die Gewindegänge von gelockerten Schrauben mit Knochen aufgefüllt werden und wieder festen Halt gewinnen.

Für eine Druckplattenverschraubung des langen Drehbruches sind sehr lange Platten erforderlich, da die Plattenlänge die Anbringung von mindestens je einer Schraube ober- und unterhalb der Fraktur gestatten muß. Die Anbringung einer genügend langen Platte ist beim langen Drehbruch, abgesehen vom Ausmaß des Eingriffes, ohne Biegeinstrument auf Grund der anatomischen Form der Tibia außerordentlich schwierig, eine axiale Druckeinwirkung durch Vorspannung infolge der steilen Bruchfläche kaum und eine ausreichende Weichteildeckung selten zu erreichen.

Der kurze Drehbruch dagegen kann nicht mit einer genügenden Anzahl von Schrauben versorgt werden, sodaß die Stabilität unzureichend ist. Andererseits können kurze Drehbrüche sehr gut mit Druckplatten behandelt werden, wobei durch Vorspannung der Fragmente auch eine dauernde, axiale

Druckeinwirkung mit Begünstigung der primären Heilung erreicht wird.

Allerdings kann bei veralteten Unterschenkeldrehbrüchen, die bereits auf Grund der eingetretenen Fragmentendenresorption, Osteoporose und Reizkallusbildung sekundäre Veränderungen aufweisen, eine fugeulose Adaption im Sinne VITALLI's nicht mehr ausgeführt werden; eine Primärheilung ist in solchen Fällen nicht zu erwarten.

Eine weitere Verbesserung der Stabilität bei der Druckplattenverschraubung des Unterschenkeldrehbruches kann nach unserer Erfahrung durch ein exaktes Anlegen der Platte an den Knochen erreicht werden. Früher mußte der Knochen mit dem Meißel an die gerade Platte angepaßt werden; die Notwendigkeit hierfür besteht meist am Übergang vom mittleren zum unteren Tibiadrittel auf Grund der Tibiaform. Aus diesem Grunde wurde bei der Herstellerfirma die Anfertigung eines Biegegerätes angeregt, mit dem eine Kaltverformung der AO-Platten zur genauen Anpassung an den Knochen möglich ist; dadurch wird eine Erhöhung der Reibung zwischen Knochen und Platte erreicht und der Sitz der Schrauben im Knochen entlastet. Nach mündlicher Mitteilung wurde im Eidgenössischen Materialprüfungsamt festgestellt, daß durch die Kaltverformung der Platten eher eine Verstärkung als eine Schwächung der Materialfestigkeit eintritt.

Der Abschluß der Primärheilung ist an der Rückbildung des Frakturspaltes zu erkennen, ohne daß eine Kortikalisverdickung oder Periostreaktion besteht; allerdings kann eine Primärheilung durch ideale Adaption vorgetäuscht werden. Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte kann eine vorzeitige Belastung des mit dem AO-Verfahren behandelten Unterschenkeldrehbruches vermieden werden.

Erfahrungsgemäß können gelegentlich 'aseptische' Entzündungen mit negativem Erregernachweis nach Anwendung des AO-Verfahrens auftreten. Diese Abszesse sind meist nach schweren Verletzungen mit ausgedehnten Knochenzertrümmerungen, bei trophischen Hautschäden oder beim Anlegen der Platte an mangelhaft weichteilbedeckten Stellen zu beob-

achten. Derartige Störungen zwingen zur vorzeitigen Entfernung der Platten; in der Regel sind die Frakturen jedoch bis zur notwendigen Entfernung des Osteosynthesematerials fest. Von Nachteil ist allerdings die vorsichtshalber offen durchzuführende Wundbehandlung, die einen längeren Krankenhausaufenthalt verursacht; eine chronische Osteomyelitis war in den beobachteten Fällen nicht zu verzeichnen. Eine Metallose als Ursache dieser Störungen liegt wahrscheinlich nicht vor, weil die entfernten Platten und Schrauben keine entsprechenden Veränderungen aufweisen. Außerdem scheint es, als ob durch bessere Stabilität nach Kaltverformung der Platten eine mechanische Unruhe am Frakturspalt als eine mögliche Ursache der 'aseptischen' Entzündungen eher ausgeschaltet werden kann. Bei Unterschenkeldrehbrüchen, die nach der AO-Methode mit Platten behandelt wurden, kam es jedoch niemals zu einer 'sterilen' Abszedierung, weil die Platten auf Grund der Erfahrungen immer lateral unter das Weichteilpolster angelegt und nur vereinzelt von medial Schrauben eingebohrt wurden.

Das an sich aufwendige AO-Verfahren (MAURATH, CHRIST u. KÖBLER) kann durch Verwendung des Biegegerätes und des erweiterten Zubehörs - Gewindeschneider- und Schraubenzieherbetätigung durch Preßluftpistole mit Rückwärtsgang - wesentlich vereinfacht werden. Außerdem ist bei sachgerechter Osteosynthese des Unterschenkeldrehbruches mit dem AO-Verfahren ein offeneres Vorgehen (GELBKE) als bei anderen blutigen Eingriffen nicht erforderlich. Die von KÜNTSCHER befürchtete Periostschädigung kann allenfalls an der Stelle eintreten, an der die Platte dem Knochen anliegt, während an den übrigen Frakturabschnitten eine Beeinträchtigung des Periostes nicht ausgelöst wird.

Zusammenfassung.

Das AO-Verfahren bietet bei der Behandlung des Unterschenkeldrehbruches den Vorteil der exakten Adaption und der absoluten Stabilität und ermöglicht unter funktioneller Übungsbehandlung fast immer eine per-primam-Heilung. Beim

langen Unterschenkel Drehbruch bewirkt die Verschraubung eine gute Stabilität, ergibt aber keine dauernde axiale Druckeinwirkung; die Druckplattenverschraubung des langen Drehbruches ist auf Grund der Frakturlänge und der anatomischen Form der Tibia nicht zu empfehlen. Am kurzen Drehbruch ist bei Verplattung durch Vorspannung eine axiale Druckeinwirkung zu erreichen. Beim veralteten Drehbruch kann man auf Grund der sekundären Veränderungen mit dem AO-Verfahren eine Primärheilung nicht erwarten. Die Kaltverformung der Platte mit dem Biegeinstrument ergibt eine Verbesserung der Stabilität. Nach der Osteosynthese ist eine vorzeitige Belastung des Unterschenkel Drehbruches zu vermeiden. 'Sterile' Abszesse nach Anwendung des AO-Verfahrens beruhen meist auf einer ungenügenden Weichteildeckung der Platte; es wird deshalb vorgeschlagen, die Platte beim Unterschenkel Drehbruch an der lateralen Tibiakante anzubringen. Die technische Durchführung des AO-Verfahrens kann durch das erweiterte Zubehör wesentlich erleichtert werden.

5. Stellungnahme zu den anderen Behandlungsverfahren.

Wie MAURATH, CHRIST u. KÖBLER berechnet haben, kann mit der Bündelnagelung nach HACKETHAL und der Fixation nach RUSH eine stabile Unterschenkelosteosynthese nicht erreicht werden. Erfahrungsgemäß kann aber mit diesen Methoden eine geschlossene Reposition des Drehbruches eher erreicht werden als mit dem KÜNTSCHER-Nagel, allerdings unter Verzicht auf ideale Adaption und vollständigen Ausgleich von Seitenverschiebung, Verkürzung und auch Rotationsfehlstellung. Die Leistungsfähigkeit des von L. BÖHLER empfohlenen Markdrahtes ist wesentlich geringer.

Die vorgeschlagene subkutane KIRSCHNER-Drahtfixation des Unterschenkel Drehbruches setzt den am Unterschenkel wirkenden erheblichen Kräften keinen genügenden Widerstand entgegen; die verschiedenen Kompressionsmethoden leisten weniger als die konservative Behandlung, weil am Unterschenkel eine frakturferne axiale Kompression der Fragmente auf Grund der Bruchflächenform nicht möglich ist.

Der Doppeldrahtgips verhindert am Unterschenkeldrehbruch nach der Reposition Verkürzung und Rotationsfehlstellung die seitliche Verschiebung der Fragmentenden wird jedoch nicht ausgeschlossen. Außerdem muß man im Hinblick auf die am Unterschenkel wirksamen erheblichen Kräfte befürchten, daß die Drähte in den Knochen einschneiden und das Repositionsergebnis verlorengelht.

B. KASUISTIK und typische Beispiele zu den einzelnen Behandlungsv erfahren aus dem eigenen Krankengut.

Zwischen 1958 und 1966 wurden über 50 Fälle von veralteten Unterschenkeldrehbrüchen behandelt. Nur sehr selten kamen frische Verletzungen direkt zur stationären Behandlung. In der überwiegenden Mehrzahl wurde am Unfallort eine mehrwöchige stationäre Behandlung durchgeführt, meist konservativ mit Streck- und Gipsverbänden, gelegentlich auch mit der Marknagelung oder Drahtumschlingung. Die Verletzten kamen in 58,0 % durchschnittlich erst 62,1 Tage nach dem Unfall zur Weiterbehandlung.

Mit Ausnahme einzelner Fälle können genaue Angaben über die Dauer der Arbeitsunfähigkeit und über spätere Beschwerden und Funktionsstörungen nicht vorgelegt werden, weil unser Krankenhaus kein Unfallkrankenhaus ist. Entlassung aus der stationären Behandlung erfolgte aber grundsätzlich nur nach eingetretener Konsolidation der Fraktur und bei weitgehend freier Beweglichkeit im Knie- und Sprunggelenk.

Die Konsolidationsdauer der außerhalb konservativ anbehandelten und später meist operativ versorgten Unterschenkeldrehbrüche betrug durchschnittlich 59,3 Tage, die stationäre Behandlungszeit durchschnittlich 70,1 Tage. Die Entfernung des Osteosynthesematerials nahm im Durchschnitt 13 Tage in Anspruch.

Ein Vergleich dieser Zahlen mit den entsprechenden Angaben in der Literatur ist nicht möglich, weil es sich fast ausnahmslos um veraltete Unterschenkeldrehbrüche handelte, die überdies mit verschiedenen Verfahren vor- und weiter-

behandelt worden sind.

Statt einer tabellarischen Übersicht wurde vorher kritisch zu den wichtigsten Behandlungsverfahren Stellung genommen; die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren sollen an typischen Beispielen aus dem Krankengut herausgestellt werden (Abb. 1 bis 19).



Abb. 1 a bis 1 c:

Beispiel für eine Innendrehfehlstellung des distalen Fragmentes (35°) nach Drehbruch im mittleren Drittel, 18 Monate nach dem Unfall. Erhebliche Zirkulationsstörungen an der verletzten Extremität mit oedematöser Schwellneigung. Deutlich verstärkter Plattknickfuß.



Abb. 2

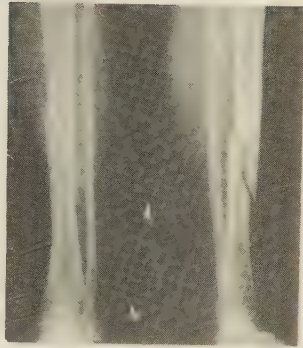


Abb. 3

Abb. 2: Beispiel für langwierigen Verlauf an einem außerhalb konservativ behandelten relativ langen Drehbruch mit insgesamt 8 Gipswechseln. Die Fraktur ist 15 Monate nach dem Unfall fest. Neben Verkürzung, Seitenverschiebung, Varusstellung und Rekurvation vor allem Innenrotationsfehlstellung des distalen Fragmentes um 25° .

Abb. 3: Relativ langer Drehbruch, 5 Monate nach dem Unfall. Die konservativ behandelte Fraktur ist noch nicht fest. Das distale Fragment ist um 45° nach innen verdreht, außerdem besteht eine Verkürzung um 2 cm.

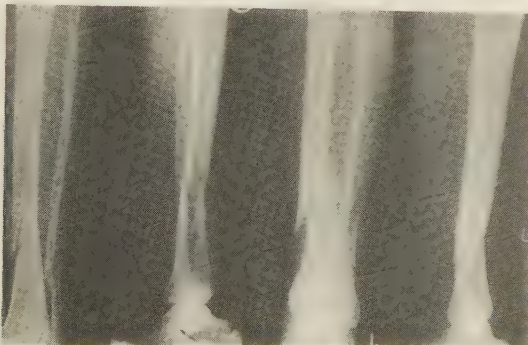


Abb. 4: Außerhalb reponierter und konservativ behandelter relativ langer Drehbruch mit nachträglicher Dislokation, Gipsfixation mit gestrecktem Knie. Links: Nach der Reposition. Rechts: 5 Wochen später Seitenverschiebung, Verkürzung, Rekurvation, Verdrehung um 15° nach innen.

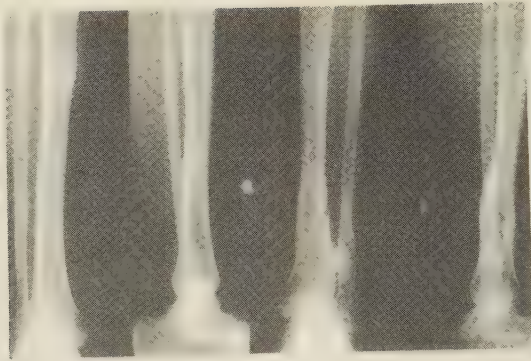


Abb.5: Außerhalb konservativ behandelter kurzer Drehbruch, 2 Jahre nach dem Unfall. Die Fraktur ist fest. Gegenüber der gesunden Seite besteht eine erhebliche Entkalkung. Verlängerung des verletzten Beines um 1,5 cm, Verdrehung des distalen Fragmentes um 20° nach innen, geringe Rekursion. Verstärkte Arthrosis deformans im oberen Sprunggelenk, verstärkter Plattknickfuß, Gangbehinderung. Teilversteifung im Knie- und Sprunggelenk. Erhebliche Zirkulationsstörungen. Rente 30 %.

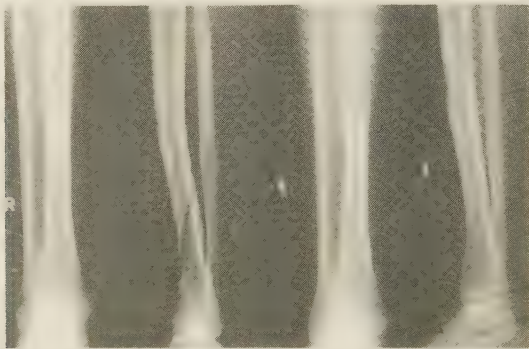


Abb.6: Sehr langer Unterschenkeldrehbruch, der bei konservativer Behandlung mit Liegegips innerhalb von 2 Monaten in sehr guter Stellung ausheilte (Gipsverbandfixation in Kniebeugung bei 100° und mäßiger Spitzfußstellung). Links: Vor der Reposition. Rechts: 3 Monate nach dem Unfall.

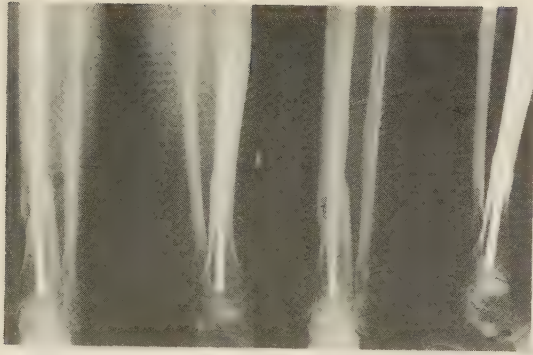


Abb. 7. Links: Kurzer Unterschenkeldrehbruch, sofort nach dem Unfall außerhalb genagelt. Rechts: 2 Jahre nach dem Unfall. Die Fraktur ist fest. Verdrehung des distalen Fragmentes um 25 - 30° nach innen, Valgusstellung, Seitenverschiebung. Sudeck mit erheblichen Zirkulationsstörungen. Einschränkung im Knie- und Sprunggelenk. Rente 35 %.



Abb. 8 a

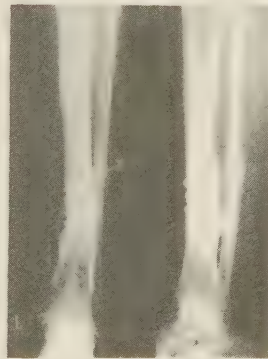


Abb. 8 b

Mittellanger Drehbruch, außerhalb sofort genagelt. Postoperativ längere Zeit Fixation im Gipsverband. 8 a: 4 Monate nach dem Unfall; Varusstellung, Seitenverschiebung, Verkürzung um 3 cm, Verdrehung des distalen Fragmentes um 30° nach innen. - 8 b: Nagelentfernung, Fibulaosteotomie, Cerclage mit Stellungskorrektur. Ergebnis 6 Monate später.

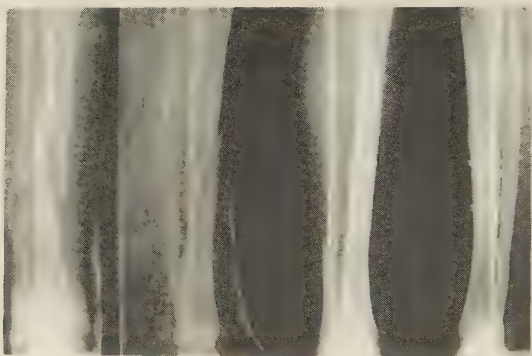


Abb. 9. Links: Mittellanger Drehbruch im Gipsverband, 2 Wochen nach dem Unfall; Seitenverschiebung, Verkürzung, klinisch Verdrehung des distalen Fragmentes um 25° nach innen. Rechts: 5 Monate nach der Cerclage; die Fraktur ist in ausgezeichnete Stellung fest.

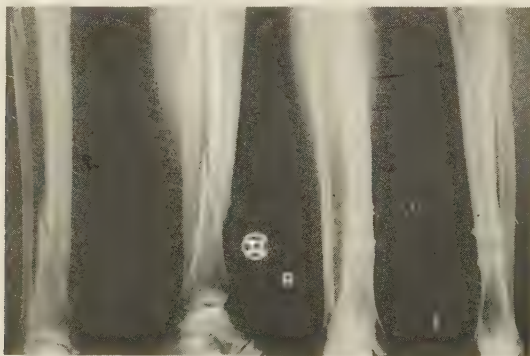


Abb. 10. Links: Mittellanger Drehbruch, 7 Wochen nach dem Unfall. Seitenverschiebung, Verkürzung, Verdrehung des distalen Fragmentes um mindestens 30° nach innen. Rechts: 3 Monate nach der Cerclage.

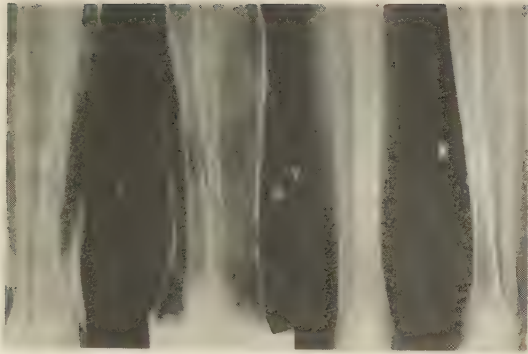


Abb. 11. Links: Langer Drehbruch, 10 Tage nach dem Unfall im Gipsverband; Seitenverschiebung, Verkürzung, Verdrehung des distalen Fragmentes um 30° nach innen. Rechts: 3 Monate nach der Drahtumschlingung.

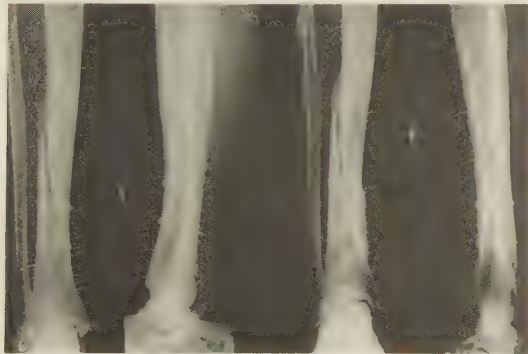


Abb. 12. Links: Außerhalb nicht sachgerecht durchgeführte Drahtumschlingung an einem sehr langen Drehbruch: Ungleichmäßige Verteilung und ungenügende Anzahl von Drahtumschlingungen, zu frühe Belastung. Rechts: Erheblich verzögerte Konsolidation, Zirkulationsstörungen, allerdings trotz ungleichmäßiger Umschlingung keine Fehlstellung; 10 Monate nach der Operation.



Abb. 13

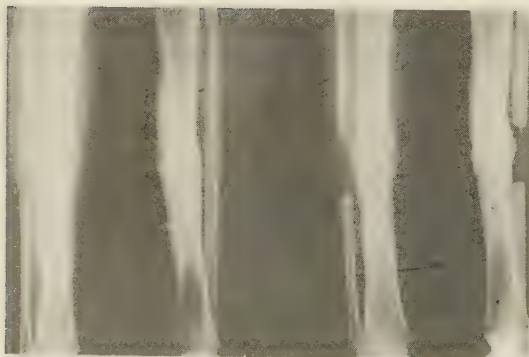


Abb. 14



Abb. 15

Abb. 13. Langer Unterschenkel-drehbruch mit großem Drehkeil, der außerhalb sachgerecht mit der Falzcerclage nach LEE-MANN behandelt wurde.

Abb. 14. Infolge vorzeitiger Belastung nach Ablauf weniger Wochen quere Pseudarthrose in Höhe des mittleren Draht-ringes (links). Rechts: Entfernung der mittleren Drahtumschlingung und Fibulaspananlagerung; 4 Monate nach der Operation ist die Pseudarthrose klinisch und röntgenologisch fest verheilt.

Abb. 15. Links: Beispiel für den Nachteil einer außerhalb durchgeführten subkutanen Drahtumschlingung nach GOETZE: Ungenaue Adaption, nur die mittlere Schlinge umfaßt beide Fragmente; 4 Monate nach der Operation. Rechts: Wegen Pseudarthrosegefahr Versorgung mit kaltverformter 6-Lochplatte und 2 Schrauben. 3 Monate später ist die Fraktur fest. Die erhebliche Osteoporose ist auf die extraperiostale Drahtumschlingung zurückzuführen.

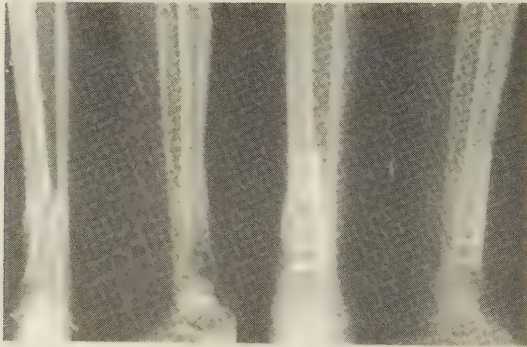


Abb. 16. Links: Kurzer Drehbruch mit kleinem Drehkeil, ausserhalb mit Extension und Gipsverband behandelt; 3 Monate nach dem Unfall Reizkallusbildung, Varusstellung, Rekurvation, Seitenverschiebung, Verkürzung, Verdrehung des distalen Fragmentes um 10° nach innen. Rechts: Behandlung nach dem AO-Verfahren mit 6-Lochplatte. Fraktur 8 Wochen später in Abheilung. Arbeitsaufnahme möglich.

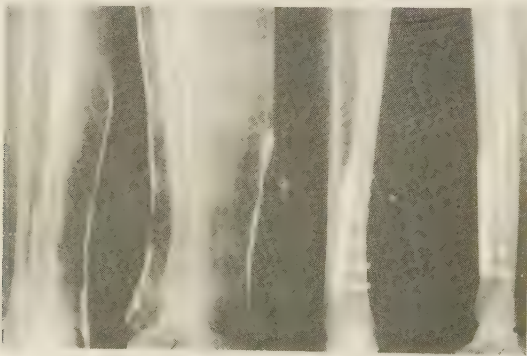


Abb. 17. Links: Kurzer Unterschenkelbruch 4 Wochen nach dem Unfall im Unterschenkelgipsverband; Seitenverschiebung, Verkürzung, Varusstellung und Rekurvation, Verdrehung des distalen Fragmentes um 30° nach innen. Rechts: Behandlung mit 6-Lochdruckplatte; Primärheilung innerhalb 9 Wochen, anschließend volle Belastung.

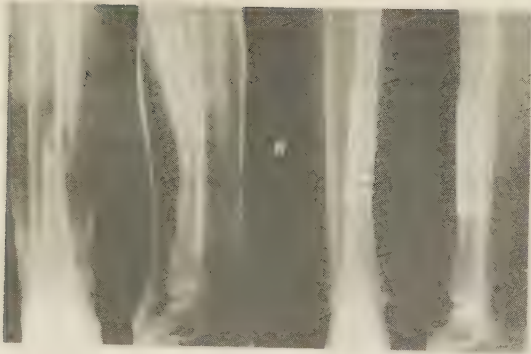


Abb. 18. Links: Kurzer Unterschenkelrehbruch, außerhalb vorbehandelt und 3 Wochen später im Gipsverband; Seitenverschiebung, Verkürzung, Rekurvation, geringe Varusstellung, Verdrehung des distalen Fragmentes um 25° nach innen. Rechts: Behandlung mit 6-Lochdruckplatte und einer Schraube. Primärheilung in 8 Wochen. Danach volle Belastung.

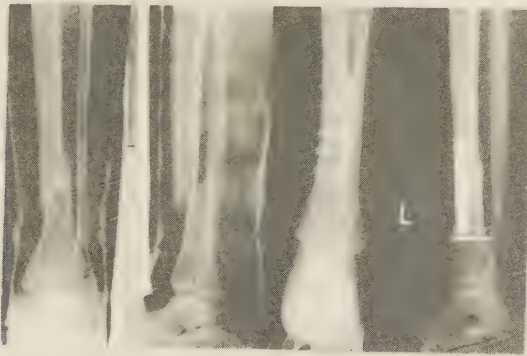


Abb. 19. Links: Kurzer Unterschenkelrehbruch, 1 Monat nach dem Unfall im Gipsverband; Seitenverschiebung, Verkürzung, Varusstellung, Verdrehung des distalen Fragmentes um 30° nach innen. Rechts: Behandlung mit 5-Lochdruckplatte, Verschraubung einer distalen Fissur; Primärheilung nach 10 Wochen. Danach volle Belastung.

V. ZUSAMMENFASSUNG.

In der vorliegenden Arbeit wurde über die Behandlungsmöglichkeiten des Unterschenkelrehbruches berichtet, ausgehend von der Beobachtung, daß reponierte Drehbrüche oft zur nachträglichen Dislokation neigen.

Im ersten Hauptteil wurde zunächst der zeitliche Ablauf der indirekten und der primären Knochenbruchheilung ausführlich dargestellt, wobei besonders die Biomechanik der Frakturheilung und die Ursachen der Konsolidationsstörungen besprochen wurden. Die Vorteile der direkten Knochenbruchheilung wurden hervorgehoben.

Im zweiten Hauptteil wurden die Merkmale des Unterschenkelrehbruches, besonders Entstehungsmechanismus, Lokalisation, Form, Häufigkeit, übliche posttraumatische Dislokation und Weichteilinterposition, dargestellt. Die Problematik des Drehbruches und typische Fehlstellungen bei verheilten Frakturen wurden aufgezeichnet.

Danach wurden die Behandlungsmöglichkeiten des Unterschenkelrehbruches besprochen, zuerst die konservative Behandlung unter Berücksichtigung allgemeiner Gesichtspunkte, der Reposition, Fixation und nachträglichen Dislokation und der Behandlungsergebnisse nach Literaturangaben. Bei der Besprechung der operativen Behandlung wurden allgemeine Gesichtspunkte, Forderung an die Osteosynthese, Zeitpunkt der Operation und Metallose, dargestellt. Anschließend wurden die einzelnen Osteosyntheseverfahren - Marknagelung, Drahtumschlingung, AO-Verfahren und andere Methoden - unter Berücksichtigung des Prinzips, der besonderen Vorteile, der Indikation und Technik, der Grenzen und Nachteile, der Ablehnung, möglichen Störungen und der erzielten Resultate besprochen.

In der abschließenden kritischen Stellungnahme wurden die wichtigsten Behandlungsverfahren auf ihre Eignung bei der Behandlung des Unterschenkelrehbruches untersucht. Die Ursachen von Fehlergebnissen wurden besprochen und an Beispielen aus dem eigenen Krankengut erläutert.

VI. LITERATURVERZEICHNIS.

- Abel, A.: Chirurg, 23, 446, 1952
- Allgöwer, M.: Helv. Chir.Acta, 28, 214, 1961
Langenb.Arch.klin.Chir., 308, 423, 1964
- Anderson, L.D.: J. Bone Jt. Surg., 47 A, 191, 1965
- Annersten, S.: Chirurg, 13, 76, 1941
- Asang, E., H. Schmidt: Münch.med. Wschr., 108, 2064, 1966
- Axhausen, W.: Langenb.Arch.klin.Chir., 266, 163, 1953
Zbl. Chir., 77, 435, 1952
- Battaglia, L., M. Gandolfi: Osp. ital., 4, 271, 1961,
zit. Zbl. Chir., 87, 2078, 1962
- Baumgartl, F.: Chirurg, 35, 508, 1964
- Baumgartl, F., H. Gremmel, K.H. Willmann:
Zbl. Chir., 83, 1386, 1958
- Bayne, L.G., H. Morris, J. Wickstrom:
South. Med. J., 53, 1429, 1960
- Becker, F.: Zt. Unf.Med., 44, 105, 1951
Helv.Chir.Acta, 21, 421, 1954
- Benninghoff, A., K. Goerttler: Lehrbuch der Anatomie des Menschen, Bd. I, Urban u. Schwarzenberg, 1964
- Berchthold, R.: Zt. Unf.Med., 43, 215, 1950
Schweiz. Med. Wschr., 80/II, 906, 1950
- Berentey, G.: Beitr. Orthop., 10, 195, 1963
- Bergermann, H.: Bruns Beitr. klin. Chir., 192, 1956
- Bier, A.: Med. Klinik, 1/2, 1905
Arch.klin.Chir., 100, 91, 1913
- Biström, O.: Acta orthop. scand., 24, 160, 1954
- Blanke, K.: Mschr. Unf.Hlkde, Beih. 53, 1, 1956
- Block, W.: Die normale und gestörte Knochenbruchheilung. Enke, 1940
Arch.Orth.Unf.Chir., 46, 619, 1953/54
- Block, W., J. Beckstroem: Langenb.Arch.klin.Chir., 277, 1953
- Blount, W.P.: Die Knochenbrüche bei Kindern. Thieme, 1957
- Blum, H.: Beitrag zur operativen Behandlung der Unterschenkelfrakturen. Diss. Luzern, 1956
- Böhler, J.: Arch.Orth.Unf.Chir., 47, 242, 1955
Langenb.Arch.klin.Chir., 298, 101, 1961

- Böhler, L.: Die Technik der Knochenbruchbehandlung. Bd. I-II, Ergänzungsbd., Maudrich, 1951-63
 Langenb. Arch. klin. Chir., 276, 192, 1953
 Langenb. Arch. klin. Chir., 295, 281, 1960
 Hefte Unf. Hlkde, 78, 265, 1964
 Langenb. Arch. klin. Chir., 308, 457, 1964
- Böttger, G.: Chir. Praxis, 9, 245, 1965
 Unterschenkelverletzungen. In: R. Schautz, Traumatologie in der chirurgischen Praxis, Springer 1965
- Brandt, G.: Verzögerte Knochenbruchheilung und Pseudoarthrosenbildung. Thieme, 1937
 Langenb. Arch. klin. Chir., 276, 278, 1953
- Braus, H.: Anatomie des Menschen. Bd. I, Bewegungsapparat, Springer, 1954
- Bruck, H., H. Moser: Arch. Orth. Unf. Chir., 46, 536, 1953/54
- Bruckner, H.: Zbl. Chir., 87, 85, 1962
- Brussatis, F.: Zt. Orth., Beil. Heft, 96, 416, 1962
- Bürkle de la Camp, H.: Langenb. Arch. klin. Chir., 276, 163, 1953
 Medizinische, 37, 1671, 1959
 Langenb. Arch. klin. Chir., 295, 271, 1960
 Langenb. Arch. klin. Chir., 298, 87, 1961
 Langenb. Arch. klin. Chir., 308, 460, 1964
- Chapchal, G.: Die Untersuchung des Bewegungssystems. In: Hohmann, G., M. Hackenbroch, K. Lindemann, Handbuch der Orthopädie, Bd. I, 792, Thieme, 1957
- Charnley, J.: The closed Treatment of common Fractures. Livingstone, London, 1957
- Corrodi, E.: Die Ergebnisse der Behandlung frischer Unterschenkelfrakturen Erwachsener mittels Zugschraubenosteosynthese. Diss. Basel, 1963
- Couchoix, J., J. Duparc, A. Dubarge, M. Caracostas: Rév. Chirurg. Orthop., 51, 459, 1965
- Danis, R.: Théorie et Pratique de l'Ostéosynthese. Masson, Paris, 1949
 Lyon. Chirurg., 51, 740, 1956
- Debrunner, A.M.: Ergebnisse der Unterschenkelbruchbehandlung am Bürgerspital Solothurn 1954-58. Diss. Zürich, 1961.
 Zt. Unf. Med. Ber. Krkh., 59, 26, 1966
 Zt. Unf. Med. Ber. Krkh., 59, 41, 1966
- Decoulx, P., J.P. Razemon: Lyon. Chirurg., 51, 211, 1956

- De Montmollin, B.: Rév.méd.Suisse rom., 82, 457, 1962
Schweiz.Med.Wschr., 94, 1564, 1964
- De Palma, A.F.: The Management of Fractures and Dislocations. Bd. I u.II, Saunders Comp. 1959
- Ebert, G.: Bruns Beitr. klin. Chir., 209, 246, 1964
- Ecke, H.: Arch.Orth.Unf.Chir., 56, 475, 1964
Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 57, 228, 1964
- Edwards, P.: Acta chir.scand., 117, 480, 1959
- Eggeling, W., R. Panzner, K. Hübner:
Bruns Beitr. klin. Chir., 199, 289, 1959
- Eggers, G.W.N., W.H. Ainsworth, T.O.Shindler, C.M.Pomerat:
Arch.Surg., 62, 467, 1951
- Eggers, G.W.N., T.O. Shindler, C.M. Pomerat:
J. Bone Jt. Surg., 31 A, 693, 1949
- Ehalt, W.: Unfallchirurgie im Röntgenbilde. Maudrich, 1950.
Becken und untere Gliedmaße. In: O. Diebold, H. Junghanns, L. Zukschwerdt, Klinische Chirurgie für die Praxis, Bd.IV, 1963
- Ehrlich, W.: Zbl. Chir., 90, 922, 1965
- Ellis, H.: J. Bone Jt. Surg., 40 B, 42, 1958
- Ender, J.: Zt. Orth., 84, Beil.Heft, 187, 1953/54
- Ender, J., H. Krottschek, H. Jahna: Hefte Unf.Hlkde 54, 1957
- Falk, G.: Arch.Orth.Unf.Chir., 44, 619, 1949/51
- Fehr, A.: Helv. Chir. Acta, 12, 233, 1945
- Fick, K.F.: Langenb.Arch.klin.Chir., 287, 713, 1957
Zbl. Chir., 82, 1013, 1957
- Forßmann, W.: Ther. Umschau, 19, 2, 1962
- Frank, E., F. Kissler; Chirurg, 31, 206, 1960
- Frey, F.: Arch.Orth.Unf.Chir., 46, 472, 1953/54
- Friedenberg, Z.B., G. French: Surg.Gynec.Obstet. 94, 743, 1952
- Ganzoni, R.: Helv. Chir. Acta, 26, 25, 1959
- Garé, Stich, Bauer: Lehrbuch der Chirurgie. Springer 1958
- Geiser, M.: Arch.Orth.Unf.Chir., 49, 268, 1957/58
Schweiz.Med.Wschr., 88, 137, 1958
Arch.Orth.Unf.Chir., 51, 201, 1959/60
Arch.Orth.Unf.Chir., 51, 689, 1959/60
Helv. Chir. Acta, 28, 499, 1961
Zt. Orth., 97, Beil.Heft, 1963
Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 57, 224, 1964

- Gelbke, H.: Langenb.Arch.klin.Chir., 277, 306, 1953
 Chir. Praxis, 43, 1958
 Chirurg, 35, 166, 1964
- Genewein, R.: Krankengymnastik, 215, 1966
- Giebel, M.G.: Arch.Orth.Unf.Chir., 56, 7, 1964
- Greifensteiner, H.: Bruns Beitr. klin. Chir., 187, 219, 1953
- Grundmann, G., V. Links: Arch.Orth.Unf.Chir., 47, 489, 1955
- Gschwend, N.: Helv. Chir. Acta, 28, 492, 1961
- Hackethal, K.H.: Langenb.Arch.klin.Chir., 287, 703, 1957
 Die Bündelnagelung. Springer, 1961
- Häbler, C.: Die stabile Osteosynthese bei Schaftbrüchen der langen Röhrenknochen. Lehmann 1944
 Chirurg, 22, 433, 1951
- Hauptli, O.: Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 49, 147, 1956
- Hafferl, A.: Lehrbuch der topografischen Anatomie. Springer, 1957.
- Hauberg, G.: Chirurg, 25, 315, 1954
- Hauck, G.J.: Chirurg, 27, 16, 1956
- Hellner, H.: In: H. Hellner, R. Nissen, K. Voßschulte: Lehrbuch der Chirurgie, Thieme, 1964
- Herfarth, C., D. Franke: Arch.klin.Chir., 313, 533, 1965
- Herzog, K.: Langenb.Arch.klin.Chir., 276, 227, 1953
 Chir. Praxis, 197, 1957
 Langenb.Arch.klin.Chir., 287, 693, 1957
 Zbl. Chir., 83, 512, 1958
 Chirurg, 29, 501, 1958
- Heuser, H.: Helv. Chir. Acta, 12, 469, 1945
- Hiltbrunner, A.: Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 48, 207, 1955
- Hoffmann, R.: Osteotaxis, Perkutane Knochenfixierung. Enke, 1959
- Huber, F.B.: 15 Jahre Frakturbehandlung an einem Landkrankenhaus, Schwabe, 1964
- Hübner, A.: Frakturen und Luxationen, Springer, 1948
- Huwylser, J.: Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 49, 152, 1956
- Illés, T.: Zbl. Chir., 81, 1089, 1956
- Jackson, R.W., J. Macnab: Am.J.Surg., 97, 543, 1959
- Janik, W.: Ärztli. Praxis, 18.Jgg., H. 42, 1640, 1966
- Jantzen, P.M.: Münch.med.Wschr., 102, 718, 1960

- Jonasch, E.: Münch.med.Wschr., 106, 834, 1964/I
Unfallchirurgische Operationen; Indikation, Technik, Fehler. Walter de Gruyter, 1965
- Karitzky, B.: Zbl. Chir., 77, 148, 1952
- Karlinger, T., J. Sas: Bruns Beitr.klin.Chir., 202, 265, 1961
- Keil, H.R.: Zbl. Chir., 84, 142, 1959
- Kessler, G.: Beitrag zur Frage der operativen Behandlung geschlossener Unterschenkeltorsionsbrüche mit der Drahtringnaht. Diss. Zürich, 1952
- Knüpper, H.: Zbl. Chir., 77, 722, 1952
- Koch, H., H. Kempter: Zbl. Chir., 76, 825, 1951
- König, W.: Vergleichende Resultate blutig und unblutig behandelter Unterschenkelfrakturen. Diss. Bern, 1955
- Koslowski, L., S. Weller: Chirurg, 33, 460, 1962
- Kranepuhl, F.: Zbl. Chir., 81, 1083, 1956
- Krompecher, S.: Die Knochenbildung. Fischer, Jena 1937
Morph. Jb., 102, 327, 1962
- Küntscher, G.: Langenb.Arch.klin.Chir., 276, 217, 1953
Chirurg, 25, 209, 1954
Brunns Beitr. klin. Chir., 191, 189, 1955
Chir. Praxis, 73, 1957
Zbl. Chir., 82, 1689, 1957
Arch.Orth.Unf.Chir., 49, 1, 1957/58
Chir. Praxis, 433, 1958
Die Marknagelung der Knochenbrüche. In: Bier, Braun, Kümmel: Chirurgische Operationslehre, Barth, Leipzig, 1958
Chir. Praxis, 227, 1959
Chirurg, 30, 28, 1959
Arch.Orth.Unf.Chir., 51, 686, 1959/60
Praxis der Marknagelung. Schattauer, Stuttgart, 1962
Hefte Unf.Hlkde, 78, 268, 1964
Langenb.Arch.klin.Chir., 308, 452, 1964
Zbl. Chir., 90, 2257, 1965
- Kuss, B.: Arch.Orth.Unf.Chir., 59, 201, 1966
- Lam, S.J.: J. Bone Jt. Surg. 46 B, 393, 1964
- Lange, M.: Zt. Orth., 91, Beil.Heft, 415, 1959

Orthopädisch-chirurgische Operationslehre.
2. Aufl., München, 1962

- Von Lanz, T., W. Wachsmuth: Praktische Anatomie. Bd. I, 4. Teil, Bein und Statik; Springer 1938
- Von Lanz, T.: Zt. Orth., 79, 7, 1950
- Leemann, R.: Helv. Chir. Acta, 19, 119, 1952
Helv. Chir. Acta, 24, 480, 1954
Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 49, 154, 1956
Chirurg, 28, 60, 1957
- Leimbach, G.: Unfallchirurgische Operationen an Knochen und Gelenken. Hippokrates, 1962
- Lentz, W.: Brüche und Verrenkungen der unteren Extremität. In: Maatz, R.: Knochenbrüche und Verrenkungen, Urban u. Schwarzenberg, 1962
- Leonhardt, H.: Arch.Orth.Unf.Chir., 46, 269, 1954
- Leriche, R.: Grundlagen einer physiologischen Chirurgie. Hippokrates, 1958
- Lexer, E.W.: Beitr. klin. Chir., 159, 372
- Lottes, O., L.J. Hill, J.A. Key: J.Bone Jt. Surg., 34 A, 861, 1952
- Lungmuss, F.: Arch.Orth.Unf.Chir., 46, 233, 1953/54
- Maatz, R.: Feder-Osteosynthese. Jansen, Kiel, 1951
Zbl. Chir., 87, 1373, 1962
Allgemeine Lehre von den Knochenbrüchen und Verrenkungen. In: R. Wanke, R. Maatz, H. Junge, W. Lentz: Knochenbrüche und Verrenkungen, Urban u. Schwarzenberg, 1962
- Marek, F.M.: Am. J. Surg. 91, 204, 1956
- Martin, B.: Zbl. Chir., 77, 76, 1952
- Marty, A.: Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 58, 1965
- Matzen, P.F.: Bruns Beitr. klin. Chir., 184, 147, 1952
Zbl. Chir., 78, 1624, 1953
Unfallorthopädie. In: Die Chirurgie des Traumas, hrsg. v. M. Zetkin u. E.H. Kühtz, Bd. III/2, Volk und Gesundheit, 1958
Beitr. Orthop., 10, 175, 1963
Zbl. Chir., 89, 1, 1964
- Maurath, J.: Langenb.Arch. klin.Chir., 308, 477, 1964
- Maurath, J., H. Christ, H. Köbler: Arch.Orth.Unf.Chir., 56, 132, 1964
Arch.Orth.Unf.Chir., 56, 501, 1964
Med. Welt, 617, 1.Halbj., 1965

- Maurer, G., F. Lechner: Allgemeines über Knochen und Gelenke sowie Frakturen und Luxationen.
In: H. Bürkle de la Camp, M. Schwaiger,
Handbuch der gesamten Unfallheilkunde,
Bd. I, 482, Enke, 1963
- Meier-Stauffer, G.: Arch.Orth.Unf.Chir., 45, 363, 1952/53
- Milton, J.W., H.G. Cohen, J.H. Mower: J. Int. Coll. Surg.,
29, 1958
- Mörl, F.: Lehrbuch der Unfallchirurgie. Volk und
Gesundheit, Berlin, 1964
- Morrison, G.M., E.J. Coughlin: Am. J. Surg., 80, 630, 1950
- Müller, H., K.F. Pitzke: Bruns Beitr. klin. Chir., 202,
399, 1961
- Müller, M.E.: Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 49, 136, 1956
Helv. Chir. Acta, 28, 198, 1961
Praxis (Bern), 54, 672, 1965
- Müller, M.E., M. Allgöwer, H. Willenegger: Langenb.Arch.
klin.Chir., 304, 808, 1963
Technik der operativen Frakturenbehand-
lung. Springer, 1963
- Müller, P.: Beitrag zur Frage der operativen Behand-
lung geschlossener Unterschenkelfrakturen.
Diss. Bern, 1959
- Mumenthaler, A.: Schweiz. Med. Wschr., 94, 1535, 1964
Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 57, 201, 1964
- Nicoll, E.A.: Fractures of the Tibial Shaft. J. Bone
Jt. Surg., 46 B, 373, 1964
- Nietlispach, C.: Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 57, 240, 1964
- Nonnemann, H.: Hefte Unf.Hlkde, 78, 271, 1964
- Oberdalloff, H.: Arch.klin. Chir., 260, 109, 1947/48
- Ostapowicz, G.: Bruns Beitr. klin. Chir., 205, 1, 1962
- Pauwels, F.: Zt. Orth. Chir., 63, Beil.Heft, 1935
Zbl. Chir., 80, 1719, 1955
Z. anat. Entwickl.Gesch., 121, 478, 1960
- Peitsch, H.: Mschr. Unf.Hlkde, 63, 412, 1960
- Pernkopf, E.: Topographische Anatomie des Menschen.
Bd. I, Bd. II, 1. u. 2. Hälfte, Urban u.
Schwarzenberg, 1937 u. 1941
- Petrokov, V.: Bruns Beitr. klin. Chir., 205, 265, 1962
- Proske, G.: Chirurg, 26, 368, 1955
- Rehn, E.: Arch. klin. Chir., 127, 640, 1923
- Rehn, E.: Arch. klin. Chir., 133, 410, 1924
Chirurg, 17/18, 14, 1946/47

- Rehn, J.: Unfallschäden an Unterschenkel und Fuß.
In: H. Bürkle de la Camp, M. Schwaiger,
Handbuch der gesamten Unfallheilkunde,
Bd. III, 448, Enke, 1965
- Rehn, J., G. Hierholzer: Bruns Beitr. klin. Chir., 211,
1, 1965
- Riniker, P.: Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 57, 211, 1964
- Rohleder, G.: Zt. Orth., 84, 1954
- Rosenfeld, W.: Zbl. Chir., 82, 68, 1957
- Roth, H.: Schweiz. Med. Wschr., 75, 7, 1945
- Rush, L.V.: Atlas der intramedullären Frakturfixation
nach Rush. Hrsg. von H. Gelbke, Barth,
München, 1957
- Russe, O.: Atlas unfallchirurgischer Operationen.
Maudrich, 1955
- Scaglietti, O.: Arch. Putti, 1, 11, 1951, ref. Zbl. Chir.,
77, 1806, 1952
- Scaglietti, O., G. Stringa: Chir. Praxis, 217, 1959
- Schautz, R.: Traumatologie in der chirurgischen Praxis.
Springer, 1965
- Schenk, R., H. Willenegger: Acta anat. (Basel), 53, 1963
Langenb.Arch.klin.Chir., 308, 440, 1964
- Schneider, R.: Helv. Chir. Acta, 28, 207, 1961
Helv. Chir. Acta, 30, 95, 1963
- Schürch, O.: Helv. Chir. Acta, 12, 528, 1945
- Schütt, H.A.: Zbl. Chir., 91, 1292, 1966
- Schultheiß, H.: Arch. Orth.Unf.Chir., 49, 337, 1957/58
- Schumpelick, W., P.M. Jantzen: Bruns Beitr. klin. Chir.,
187, 129, 1953
- Schwarz, E.: Die Knochenbrüche und Verrenkungen und
ihre Behandlung. Fischer, Jena, 1958
- Schwier, V.: Mschr. Unf.Hlkde, 61, 234, 1958
Chirurg, 31, 220, 1960
- Segmüller, G., M. Allgöwer: Chirurg, 36, 504, 1965
- Segmüller, G., E. Corrodi, G. Kessler: Zt. Unf.Med.Ber.
Krkh., 57, 252, 1964
- Sjövall, H.: Zbl. Chir., 82, 1234, 1957
- Sobotta, J., J. Becher: Atlas der deskriptiven Anatomie
des Menschen, Bd. I, Lehmann, 1965
- Spalteholz, W., R. Spanner: Handatlas der Anatomie des
Menschen. Bd. I, 16. Aufl. Scheltema u.
Holkema N.V., 1959
- Spohn, K.: Langenb.Arch.klin.Chir., 276, 759, 1953

- Stollmann, K.: Die Drahtumschlingung bei Unterschenkel-schaftbrüchen. Diss. Würzburg, 1963
- Strelli, R.: Langenb.Arch.klin.Chir., 287, 722, 1957
- Stringa, G.: Chir. Praxis, 461, 1957
- Stucke, K., K. Stollmann: Münch. Med.Wschr., 107/I, 789, 1965
- Thomson, J.E.M.: Surg. Gynec. Obstet., 94, 189, 1952
- Tilman, O.: Langenb.Arch. klin.Chir., 276, 237, 1953
- Titze, A.: Untere Gliedmaßen. In: W. Ehalt, Ver-
letzungen bei Kindern und Jugendlichen,
393, Enke, 1961
Chir. Praxis, 9, 391, 1965
- Toldt-Hochstetter: Toldts Anatomischer Atlas, Bd. I, Ur-
ban u. Schwarzenberg, 1957
- Trillat, A.: Lyon. Chirurg., 50, 319, 1955
- Trueta, J.: Zt. Orth., 99, 11, 1965
- Usadel, G.: Chirurg, 21, 96, 1950
- Van Beeck, L.M.: Chir. Praxis, 61, 1959
- Viernstein, K., K.H. Täger: Münch. Med.Wschr., 107,
2159, 1965
- Vitalli, H.P.: Zt. Orth., 99, 146, 1965
Zbl. Chir., 91, 1291, 1966
- Vogt, B.: Helv. Chir. Acta, 30, 92, 1963
Helv. Chir. Acta, 30, 97, 1963
- Wagner, H.: Zt. Orth., 96, Beil.Heft, 418, 1962
- Waldeyer, A.: Anatomie des Menschen. 4. Aufl., Bd. I,
Walter de Gruyter, 1965
- Watson-Jones, R.: Fractures and Joint Injuries. Bd. I u.
Bd. II, Livingstone, 1956/57
- Weber, B.G.: Zt. Unf.Med.Ber.Krkh., 59, 101, 1966
- Weller, S.: Dt. Med. Wschr., 86/II, 1966, 1961
- Werwie, M.: Chirurg, 25, 405, 1954
- White, E.H., T.J. Radley, N.N. Early: J. Bone Jt. Surg.,
35 A, 749, 1953
- Wieser, C.: Langenb.Arch.klin.Chir., 308, 434, 1964
- Wieser, C., M. Allgöwer: Rad. clin. (Basel), 31, 297, 1962
- Willenegger, H.: Langenb.Arch.klin.Chir., 276, 173, 1953
- Willenegger, H., R. Schenk, F. Straumann, M.E. Müller, M.
Allgöwer, H. Krüger: Langenb.Arch.klin.
Chir., 301, 1962
- Witt, A.N.: Die Behandlung der Pseudarthrose. Walter
de Gruyter, Berlin, 1952
Langenb.Arch.klin.Chir., 276, 232, 1953

- Zt. Orth., 84, Beil.Heft, 180, 1953/54
- Wittmoser, R.: Langenb. Arch.klin.Chir., 276, 229, 1953
- Wray, J.B.: J. Bone Jt. Surg., 47 A, 168, 1965
- Wustmann, O.: Ärztl. Praxis, VI, H. 31, 7, 1954
- Zucman, J., P. Maurer: Rév. Chirurg. Orthop., 51, 475,
1965

VII. LEBENS LAUF.

Am 10. Februar 1931 wurde ich als Sohn des praktischen Arztes Dr. med. Marcellus Schütt und seiner Ehefrau Hildgard geb. Gräve geboren. Nach vierjährigem Besuch der Volksschule und neunjährigem Besuch der Höheren Schulen in Werl und Essen-Steele bestand ich am 21. Februar 1951 am Carl-Humann-Gymnasium in Essen-Steele die Reifeprüfung.

Mit dem Medizinstudium begann ich im Sommersemester 1951 in Münster, studierte zwischenzeitlich in Köln und bestand in Bonn am 27.10.1953 die Ärztliche Vorprüfung. Die klinischen Semester verbrachte ich sämtlich in Bonn und bestand dort am 24. Oktober 1957 das Staatsexamen.

Nach dem Staatsexamen war ich insgesamt zwei Jahre an der Chirurgischen Universitätsklinik (Direktor: Prof. Dr. Gütgemann) und an der Orthopädischen Universitätsklinik (Direktor: Prof. Dr. Rössler) in Bonn tätig. Die Medizinalassistentenzeit in der Frauenheilkunde leistete ich in Jülich, in der Inneren Medizin in Linz/Rhein ab. Die Bestallung als Arzt wurde zum 15.8.1960 ausgesprochen.

Nach kurzer chirurgischer Tätigkeit in Linz/Rhein bin ich seit dem 16.11.1960 ununterbrochen am Krankenhaus der Augustinerinnen in Köln beschäftigt. In dieser Zeit war ich mit Ausnahme einer einjährigen unfallchirurgischen Ausbildung (Chefarzt Dr. W.L. Müller) ausschließlich an der Orthopädischen Abteilung (Leiter: Prof. Dr. Daubenspeck) tätig.

Die Anerkennung als Facharzt für Orthopädie erhielt ich am 15. Dezember 1964. Ich beabsichtige, im Sommer 1967 in Emmendingen/Bd. eine fachorthopädische Praxis zu eröffnen.

Herrn Prof. Dr. Rössler bin ich für die Übernahme des Referates sehr verbunden. Herrn Prof. Dr. Daubenspeck danke ich für die Überlassung der Krankengeschichten und der Röntgenaufnahmen.

